

**RAFAEL DELLA GIUSTINA LEAL**

**IMPACTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS DA  
ROBOTIZAÇÃO:  
ESTUDO DE CASO DO PROJETO ROBOTURB**

**FLORIANÓPOLIS  
2005**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**IMPACTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS DA  
ROBOTIZAÇÃO:  
ESTUDO DE CASO DO PROJETO ROBOTURB**

Dissertação submetida à  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

**RAFAEL DELLA GIUSTINA LEAL**

Florianópolis, março de 2005.

# **IMPACTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS DA ROBOTIZAÇÃO: ESTUDO DE CASO DO PROJETO ROBOTURB**

Rafael Della Giustina Leal

‘Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Automação e Sistemas, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina’

---

Prof. Marcelo Ricardo Stemmer, Dr.-Ing.  
Orientador

---

Prof. Denizar Cruz Martins, Dr.  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

---

Prof. Pedro Antônio Vieira, Dr.

---

Prof. Werner Kraus Junior, Ph.D.

---

Prof. Raul Guenther, D. Sc.

## DEDICATÓRIA

*... à Caroline Dutra*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que ajudaram de uma forma ou de outra a realização deste trabalho:

A minha esposa, Caroline Dutra, pelo incentivo constante e incansável,

A meu pai e minha madrastra, Nivaldo Leal e Neida Miollo, pela motivação,

Ao meu orientador, Marcelo Stemmer, pela paciência e apoio,

Ao coordenador do projeto Roboturb, engenheiro Walter Kapp, pela ajuda, ensinamentos e apoio,

Ao engenheiro Emerson Raposo, pela ajuda e ensinamentos,

A todos os engenheiros e estagiários do projeto Roboturb,

Aos amigos Valdemar Dallagnol e Jorge Ivan, pelo apoio e motivação.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

## **IMPACTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS DA ROBOTIZAÇÃO: ESTUDO DE CASO DO PROJETO ROBOTURB**

**Rafael Della Giustina Leal**

Março/2005

Orientador: Marcelo Ricardo Stemmer, Dr.

Área de Concentração: Automação e Sistemas

Palavras-chave: Robótica, impacto social, impacto econômico.

Número de Páginas: 128.

**RESUMO:** O presente trabalho visa analisar os impactos sociais, econômicos e tecnológicos do desenvolvimento e uso de robôs no Brasil, utilizando para isso o estudo de caso do projeto Roboturb, o primeiro robô, com sete graus de liberdade, projetado, desenvolvido e construído no Brasil com aplicação industrial. O trabalho analisa o caso geral, mostrando as consequências que a utilização de novas tecnologias trouxeram a sociedade ao longo da história. São discutidas as mudanças nas relações competitivas entre empresas que adotam ou não novas tecnologias e os impactos propagados aos respectivos fornecedores e clientes. Buscamos no trabalho expor diferentes pontos de vista em relação a eliminação, criação, modificação e transferência de postos de trabalho em função da inovação tecnológica.

Dentre as novas tecnologias utilizadas na indústria analisamos em particular o caso dos robôs. Nesta análise destacamos as principais aplicações dos robôs, as consequências nos postos de trabalho, efeitos nas empresas, número de robôs utilizados no mundo, países produtores e consumidores de robôs. Do caso mundial é passado ao contexto brasileiro, analisando as particularidades da adoção de novas tecnologias e robôs em indústrias nacionais. O estudo de caso do projeto e construção de um robô no Brasil, através do projeto Roboturb, é usado para discutir as principais particularidades da robotização no Brasil.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

## **ROBOTIZATION SOCIAL AND ECONOMICAL IMPACTS: PROJECT ROBOTUB CASE STUDY**

**Rafael Della Giustina Leal**

March/2005

Advisor: Marcelo Ricardo Stemmer, Dr.

Area of Concentration: Systems and Automation

Keywords: Rotobites, social impact, economical impact

Number of Pages: 128

**ABSTRACT:** The present work aims to analyze the social, economical and technological impacts of the development and use of robots in Brazil, using the project Roboturb case study, the first robot with an industrial application and seven degrees of freedom, designed, developed and built in Brazil. The work analyzes the general case, demonstrating the consequences brought to society by new technologies throughout the history. The changes in companies competitiveness and the propagated effects of the use of new technologies for the company suppliers and clients are discussed. We aimed to show different points of view regarding job displacement, creation, elimination and modification due to technological innovations. Among the new technologies used by the industry we analyzed the particular case of robots. At this analysis we aimed to stress the main robots applications, their effect on jobs, companies, the world stock of robots, the countries that produce robots and the main countries that buy robots. From the world scene we go to the brazilian context, analyzing the issues of adopting new technologies and robots in brazilian companies. The project and built case study of a robot in Brazil, through the Roboturb project, is used discuss the main issues of robotization in Brazil.

## Sumário

<b>1</b>	<b><i>Introdução</i></b> .....	<b>1</b>
1.1	Justificativa .....	1
1.2	Estrutura da Dissertação .....	2
<b>2</b>	<b><i>Robótica</i></b> .....	<b>4</b>
2.1	Introdução .....	4
2.2	Definições do Termo Robô.....	4
2.3	História .....	5
2.4	Robôs na Indústria .....	9
2.4.1	Economia Mundial e a Produção de Robôs.....	10
2.4.3	Estoque Mundial de Robôs.....	11
2.4.4	Robôs no Brasil .....	15
2.4.2	Aplicações dos Robôs.....	16
2.4.3	Densidade de Robôs nas Empresas .....	17
2.4.4	Custo do Robô em Relação à Mão-de-obra.....	19
2.5	O Sistema Robótico .....	19
2.5.1	Cinemática Direta e Inversa (SPONG, 1989).....	22
2.6	Conclusão .....	22
<b>3</b>	<b><i>Impactos Sociais e Econômicos</i></b> .....	<b>23</b>
3.1	Introdução .....	23
3.2	Tecnologia, Sociedade e Trabalho.....	23
3.2.1	Emprego: Braçal x Intelectual .....	29
3.3	Impacto Social e Econômico .....	30
3.3.1	Inovação de Produto e Inovação de Processo.....	32
3.4	Automação da Manufatura .....	50
3.5	Modificações na Estrutura do Emprego.....	53
3.6	Robotização .....	56
3.7	A Indústria Brasileira .....	60
3.7.1	Formação da Indústria .....	60
3.7.2	Automação no Brasil – Reserva de Mercado .....	62
3.7.3	Automação no Brasil – Abertura Econômica .....	64
3.7.4	Automação na Indústria Automobilística .....	65
3.7.5	Viabilidade da Automação .....	67
3.7.6	Impacto Social e Econômico da Automação no Brasil .....	68
3.8	Desafios para a Geração de Tecnologia no Brasil .....	69
3.9	Conclusão .....	72



<b>4</b>	<b><i>Roboturb</i></b> .....	<b>73</b>
4.1	<b>Introdução</b> .....	<b>73</b>
4.2	<b>Descrição da Tarefa</b> .....	<b>73</b>
4.3	<b>Recuperação Manual</b> .....	<b>78</b>
4.4	<b>Recuperação Robotizada</b> .....	<b>81</b>
4.5	<b>Projeto Roboturb</b> .....	<b>83</b>
4.5.1	Equipe.....	83
4.5.2	Financiamento .....	84
4.5.3	Descrição do Roboturb .....	85
4.5.4	Manipulador .....	85
4.5.5	Trilho Flexível.....	86
4.5.6	Controlador.....	87
4.5.7	Unidade de Potência (BUSCHINELLI, 2004) .....	88
4.5.8	Controle Remoto .....	90
4.5.9	Ferramentas: Sensor Laser.....	90
4.5.10	Ferramentas: Tocha de Soldagem.....	91
4.5.11	<i>Software</i> .....	91
4.5.12	Giroscópio .....	92
4.5.13	Acionamentos .....	92
4.5.14	Encoders .....	92
4.6	<b>Processo Robotizado de Recuperação com o Roboturb</b> .....	<b>92</b>
<b>5</b>	<b><i>Estudo de Caso do Projeto Roboturb</i></b> .....	<b>98</b>
5.1	<b>Introdução</b> .....	<b>98</b>
5.2	<b>Importância da Geração de Energia</b> .....	<b>98</b>
5.3	<b>Frequência da Cavitação</b> .....	<b>98</b>
5.4	<b>Custo de uma Recuperação Manual</b> .....	<b>100</b>
5.5	<b>Características da Recuperação Manual</b> .....	<b>101</b>
5.6	<b>Características da Recuperação Robotizada</b> .....	<b>104</b>
5.7	<b>Deposição de Ligas Mais Duras</b> .....	<b>107</b>
5.8	<b>Redução do Retrabalho</b> .....	<b>107</b>
5.9	<b>Medição do Volume Depositado</b> .....	<b>108</b>
5.10	<b>Lucro Cessante</b> .....	<b>109</b>
5.11	<b>Inovação de Processo e Inovação de Produto</b> .....	<b>111</b>
5.12	<b>Iniciativa Privada – Análise da Conjuntura Brasileira</b> .....	<b>111</b>
5.13	<b>Forma Como Foi Implementado: Parceria UFSC/LACTEC/Financiamento Estatal</b> .....	<b>112</b>

5.14	Problemas Desse Tipo de Estrutura .....	113
5.15	Estratégia de Nicho de Mercado .....	114
5.16	Desenvolvimento Tecnológico.....	115
5.17	Outras Tecnologias Resultantes .....	116
5.18	Impacto Social.....	119
6	<i>Conclusão</i> .....	123
7	<i>Referências Bibliográficas</i> .....	127

## Lista de Figuras

Figura 1: Junta e elo .....	20
Figura 2: Tipos de juntas (OLIVEIRA, 2004).....	20
Figura 3: Robô REIS .....	21
Figura 4: Impactos de novas tecnologias - TCHIJOV.....	35
Figura 5: Ponto de vista da empresa.....	41
Figura 6: Mercado Consumidor.....	44
Figura 7: Aumento do mercado consumidor .....	45
Figura 8: Cadeia de produção simplificada .....	46
Figura 9: Representação de uma usina geradora .....	74
Figura 10: Detalhe da turbina .....	74
Figura 11: Fluxo de água 1 .....	75
Figura 12: Fluxo de água 2 .....	75
Figura 13: Fluxo de água 3 .....	76
Figura 14: Fluxo de água 4 .....	76
Figura 15: Rotor tipo Francis .....	77
Figura 16: Cavitação.....	77
Figura 17: Localização do andaime 1 .....	78
Figura 18: Localização do andaime 2.....	79
Figura 19: Cratera não condicionada para solda .....	79
Figura 20: Goivagem.....	80
Figura 21: Esmerilhamento .....	80
Figura 22: Cratera condicionada.....	81
Figura 23: Robô SCOMPI 1 .....	82
Figura 24: Robô SCOMPI 2 .....	82
Figura 25: Roboturb no laboratório.....	85
Figura 26: Trilho flexível .....	86
Figura 27: Detalhe do trilho .....	86
Figura 28: Controlador .....	87
Figura 29: Controle remoto .....	90
Figura 30: Sensor laser .....	91
Figura 31: Robô com a tocha de solda .....	91
Figura 32: Robô medindo a cratera 1 .....	94
Figura 33: Robô medindo a cratera 2 .....	94
Figura 34: Robô soldando .....	95
Figura 35: Representação numérica .....	96
Figura 36: Primeira camada de solda .....	96
Figura 37: Solda sobre cabeça.....	101
Figura 38: Solda em ambiente restrito.....	102
Figura 39: Cratera antes de ser condicionada.....	105
Figura 40: Material a ser retirado .....	106
Figura 41: Material a ser retirado para solda robotizada.....	106

## Lista de Tabelas

Tabela 1: A evolução dos robôs .....	10
Tabela 2: Comparativo entre máquinas ferramentas e robôs em 2002.....	11
Tabela 3: Número de robôs no mundo .....	13
Tabela 4: Desmembramento do custo em percentuais .....	17
Tabela 5: Número de funcionários substituídos e retorno do investimento .....	59
Tabela 6: Comercialização dos principais produtos de automação industrial no Brasil (US\$ milhões) .....	63
Tabela 7: Empregos gerados no setor de automação no Brasil entre 1984 e 1989 .....	63
Tabela 8: Emprego ligado ao setor de automação.....	64
Tabela 9: Competitividade do segmento de automação industrial brasileiro.....	65
Tabela 10: Distribuição do aporte de recursos .....	84
Tabela 11: Situação da cavitação em turbinas hidráulicas no Brasil, outubro de 1997 (BONACORSO, 2002).....	100
Tabela 12: Comparação de custos .....	109
Tabela 13: Ganho levando em conta ligas mais resistentes.....	110
Tabela 14: Lucro cessante .....	110

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Número de robôs vendidos/ano.....	11
Gráfico 2: Número de robôs .....	14
Gráfico 3: Robôs no Brasil .....	15
Gráfico 4: Número de robôs/10000 empregados na indústria em 2002.....	17
Gráfico 5: Densidade de robôs industriais em 2002.....	18
Gráfico 6: Número de robôs/10000 empregados na indústria automotiva em 2002 .....	19
Gráfico 7: Participação das empresas no mercado do produto X.....	44
Gráfico 8: Nova participação após mudança tecnológica .....	45

# 1 Introdução

A presente dissertação visa analisar os impactos sociais, econômicos e tecnológicos do desenvolvimento e uso de robôs no Brasil, utilizando para isso o estudo de caso do projeto Roboturb, o primeiro robô, com sete graus de liberdade, projetado, desenvolvido e construído no Brasil com aplicação industrial.

O trabalho analisa o caso geral, mostrando as consequências que a utilização de novas tecnologias trouxeram à sociedade ao longo da história. São discutidas as mudanças nas relações competitivas entre empresas que adotam ou não novas tecnologias e os impactos propagados aos respectivos fornecedores e clientes.

A eliminação de empregos associada ao uso de novas tecnologias é um assunto bastante polêmico e controverso. Buscamos no trabalho expor diferentes pontos de vista em relação à eliminação, criação, modificação e transferência de postos de trabalho em função da inovação tecnológica.

Dentre as novas tecnologias utilizadas na indústria, analisamos em particular o caso dos robôs. Nesta análise destacamos as principais aplicações dos robôs, as consequências nos postos de trabalho, efeitos nas empresas, número de robôs utilizados no mundo, países produtores e consumidores de robôs.

Do caso mundial é passado ao contexto brasileiro, analisando as particularidades da adoção de novas tecnologias e robôs em indústrias nacionais. O estudo de caso do projeto e construção de um robô no Brasil, através do projeto Roboturb, é usado para discutir as principais particularidades da robotização no Brasil.

## 1.1 Justificativa

A justificativa do presente trabalho é análise de como novas tecnologias, no caso os robôs, modificam os postos de trabalho e a competitividade de empresas que as utilizam frente a seus concorrentes. Será analisado também como a produção nacional ou importação de robôs afeta a economia de empresas e países, e qual a situação do Brasil nesse contexto.

Na revisão bibliográfica encontramos trabalhos relacionados ao Brasil, mas sobre a automação em montadoras de automóveis (MARQUES, 1990; TAUILE, 1986), estudo de firmas de automação industrial (BASTOS, 1998) e desafios tecnológicos e impactos sociais

(KATZ and SICSÚ, 2004; PAULA, 1999; PASTORE, 2004). Entretanto é escassa a bibliografia sobre o uso de robôs e suas consequências no Brasil.

Os impactos sociais e econômicos do uso de robôs em países desenvolvidos estão largamente documentados em trabalhos como (ARAI, 1989; ISHITANI and KAYA, 1989; KINOSHITA and YAMADA, 1989; McCURDY, 1989; MORI, 1989; SAITO and NAKAMURA, 1989; TANI, 1989; TCHIJOV, 1989; TORII, 1989) ou entre um dos mais citados está (EDLER and RIBAKOVA, 1994) com o estudo do impacto de robôs na Alemanha.

Como vemos em (DESAI, 1995; NARAIN and YADAV, 1997) os impactos de novas tecnologias em países não-industrializados, como a Índia, são diferentes dos estudos em países desenvolvidos.

A contribuição pretendida nesta dissertação é justamente um estudo dos impactos da robótica no contexto brasileiro. Levando em conta tanto o uso de robôs quanto as dificuldades e desafios para o desenvolvimento de robótica no Brasil. Para este estudo utilizaremos o estudo de caso do projeto Roboturb.

## **1.2 Estrutura da Dissertação**

A dissertação divide-se em seis capítulos.

No Capítulo 2 é feita uma introdução à robótica. São abordados brevemente a história do desenvolvimento e a industrialização dos robôs. Também é apresentado um panorama atual do uso de robôs no mundo, principais aplicações e países que mais utilizam robôs. O capítulo encerra com uma revisão dos termos mais comuns usados em robótica.

O Capítulo 3 visa expor e discutir aspectos sociais e econômicos ligados a novas tecnologias. Inicialmente fazendo uma retrospectiva histórica de como a tecnologia alterou a forma de trabalho do homem. Em seguida é partido do caso geral dos impactos da automação no mundo e particularizando para o caso brasileiro. O mesmo é feito para a robotização.

No Capítulo 4 é feita uma descrição do projeto Roboturb, a tarefa que o mesmo visa resolver e como esta tarefa é feita de forma manual.

No Capítulo 5 é feita uma análise dos desafios e impactos do projeto Roboturb. Em uma primeira parte são discutidos os impactos econômicos no setor elétrico e na segunda impactos tecnológicos e sociais.

No Capítulo 6 são expostas as conclusões e perspectivas.

## 2 Robótica

### 2.1 Introdução

Neste capítulo será feita uma introdução à robótica visando abordar os principais fatos históricos relativos à criação, o desenvolvimento e a industrialização dos robôs no mundo, assim como as principais definições do que é um robô.

Em seguida será apresentado um panorama atual da indústria de robótica, destacando as principais aplicações dos robôs na atualidade e a quantidade de robôs por países.

Por fim, será feito neste capítulo uma revisão dos principais conceitos e definições de robótica, visando mostrar os principais componentes de um sistema robótico.

### 2.2 Definições do Termo Robô

O termo eslavo *robota* significa trabalho forçado ou escravo, e teve sua divulgação em uma peça de 1921 de Karel Capek. Em seguida, Isaac Asimov, em 1950 escreveu o conto “Eu, robô”, onde chegou a definir as leis da robótica no sentido comportamental. Tanto Capek, quanto Asimov imaginaram um futuro “negro”, onde robôs se voltariam contra seus criadores. Tal mito ainda persiste no consciente ou inconsciente das pessoas. Atualmente (2004) foi lançado o filme estrelado por Will Smith e dirigido por Alex Proyas, homônimo do conto de Asimov.

Como o termo “robô” criou-se no contexto literário, e não no técnico-científico, o mesmo ficou preso a idéia de ser antropomórfico definido por Capek e reforçado por Asimov (OLIVEIRA, 2004). O histórico de criação da palavra explica as definições tão diversas que temos hoje.

A RIA (Robotics Industries Association) define um robô como “um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos programáveis variáveis a fim de desempenhar uma variedade de tarefas”.

De uma maneira mais simples o Departamento de Indústria do Reino Unido define robôs como “manipuladores mecânicos reprogramáveis”.



A ISO, *International Organization for Standardization* ([www.iso.org](http://www.iso.org)), afirma que “um robô industrial é um manipulador multifuncional reprogramável com controle de posição automático, tendo vários eixos e capaz de manipular materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de operações variáveis programadas a fim de desempenhar uma variedade de tarefas”.

Das diferentes definições do que seja um robô, o ponto principal é a palavra reprogramável. O robô é uma máquina que pode ser reprogramada para desempenhar diferentes funções.

Em OLIVEIRA encontramos uma classificação de máquinas por níveis de inteligência:

1. Dispositivos Manuais – operados por pessoas.
2. Robôs de Sequências Fixas
3. Robôs de Sequências Variáveis – o operador pode mudar as seqüências com facilidade.
4. Robôs Executores (*playback*) – o operador humano guia o robô a executar uma tarefa fixa.
5. Robôs Controlados Numericamente – o operador fornece apenas o programa do movimento, em vez de o ensinar manualmente.
6. Robôs Inteligentes – percebem e interagem com alterações do ambiente.

## 2.3 História

A robótica evoluiu através de diferentes gerações de robôs. As fronteiras de uma geração para a outra, nem sempre são nítidas. Alguns autores divergem sobre o número de gerações. Abaixo apresentamos duas classificações diferentes de robôs por gerações:

SILVA (2003) apresenta a seguinte classificação:

- **1ª Geração:** São robôs tipicamente industriais, desprovidos de “inteligência” senão aquela programada. O espaço de trabalho onde atuam deve ser preparado, pois eles não são capazes de perceber os objetos ao seu redor com exatidão. Poucos utilizam um computador dedicado embarcado. São usados em fábricas devido ao aumento de produtividade e qualidade do produto gerado, além de apresentarem boa durabilidade.
- **2ª Geração:** A expansão do mercado de semicondutores barateou suficientemente os computadores, a ponto destes serem utilizados para equipar robôs. Isto permitiu que se utilizasse cálculos em tempo-real e controle mais preciso dos atuadores ao longo das

trajetórias. Sensores de torque, força e proximidade puderam ser integrados proporcionando maior adaptabilidade e precisão ao trabalho desempenhado, permitindo robotizar a montagem, solda e a pintura.

- **3ª Geração:** Incorporam múltiplos processadores, assíncronos e independentes entre si. Possuem sistemas supervisórios e de controle de alto nível. São capazes de se comunicar com outros sistemas. Seu potencial ainda não foi suficientemente explorado.

OLIVEIRA (2004, pág. 5) coloca uma classificação por gerações sob outra perspectiva:

- **1ª Geração:** Robôs Executores (*playback*) – repetem uma sequência de instruções pré-gravada.
- **2ª. Geração:** Robôs Controlados por Sensores – possuem malhas fechadas com realimentação sensorial.
- **3ª. Geração:** Robôs Controlados por Visão – a malha fechada inclui um sistema de visão (imagem que é processada).
- **4ª. Geração:** Robôs com Controle Adaptativo – o robô pode reprogramar suas ações com base nos seus sensores.
- **5ª. Geração:** Robôs com Inteligência Artificial – usa técnicas de inteligência artificial para tomar decisões e resolver problemas.

Para a classificação acima cabem algumas ressalvas. No caso da segunda geração quando se fala de sensores, podemos supor que estão excluídas as câmeras, apesar destas serem um tipo de sensor. Portanto a diferença da segunda para a terceira geração seria o processamento de imagem em si e não o uso de câmeras. Quanto ao termo “controle adaptativo” usado na quarta geração, podemos supor que o mesmo refere-se a controle inteligente, interativo, pois o termo controle adaptativo tem outro significado na teoria clássica de controle.

Fazendo uma retrospectiva histórica da robótica, através da compilação de dados de diversas fontes (OLIVEIRA, 2004, TRUEFORCE, 2004, WIKI, 2004, AUSTIN, 2004, IIROBOTS, 2004 e SANTOS, 2003) temos os seguintes marcos históricos:

1495 – Um robô humanóide semelhante a um cavaleiro é desenhado por Leonardo Da Vinci.

1737 – O primeiro autômato, um tocador automático de flauta com 12 músicas de repertório, é construído pelo francês Jacques de Vaucanson em Grenoble.

1774 – Um “escritor automático”, uma máquina na forma de um garoto capaz de desenhar e escrever qualquer mensagem com até 40 caracteres, é construída por Pierre e Henri-Louis Jacquet-Droz.

1801 – Um tear programável é inventado por Joseph Jacquard e em seguida produzido em massa.

1818 – “Frankenstein” é escrito por Mary Shelley.

1830 – Um torno mecânico operado por câmera é inventado pelo americano Christopher Spencer.

1921 – O termo “robô” é introduzido por Karel Capek.

1938 – O primeiro mecanismo de pintura automática por *spray* é projetado pelos americanos Willard Pollard e Harold Roselund.

1941 – A palavra robótica é usada pelo escritor de ficção científica Isaac Asimov.

1946 – O primeiro grande computador eletrônico, o *Eniac*, na Universidade da Pensilvânia é construído.

O primeiro computador digital, o *Wirlwind* do MIT, resolve seu primeiro problema.

1951 – O primeiro braço articulado teleoperado é projetado por Raymond Goertz, na França, para a Comissão de Energia Atômica.

1954 – O primeiro robô programável é projetado por George Devol, que cria o termo “Universal Automation”.

1956 – George Devol e Joseph Engelberger formam a primeira empresa de robótica do mundo, a UNIMATE.

1959 – Marvin Minsky e John McCarthy criam o Laboratório de Inteligência Artificial no MIT.

1960 – Primeiro robô “Unimate” é lançado. Princípios de controle numérico e atuadores hidráulicos. Este robô foi fruto da compra da Unimation pela Condec Corporation.

American Machine and Foundry (AMF Corporation) comercializa o primeiro robô cilíndrico, o Versatran.

1961 – Primeiro robô usado em uma linha industrial. A General Motors compra um robô UNIMATE para sua fábrica em Nova Jersey.

1963 – Primeiro robô com 6 juntas, em forma de braço e controlado por computador. Construído com o objetivo de ajudar deficientes físicos.

1965 – Transformações homogêneas são aplicadas a cinemática de robôs.

1967 – Japão importa o robô Versatran, o primeiro robô importado no Japão.

1968 – Primeiro robô capaz de interagir independentemente com o ambiente. Um robô móvel desenvolvido no Stanford Research Institute: “Shakey”. Câmera de vídeo e sensores de contato. O computador que controlava o robô era do tamanho de uma sala.

Kawasaki começa a produzir, através de uma licença, robôs da Unimation no Japão.

1969 – Braço de Stanford desenvolvido pela Universidade de Stanford com atuação elétrica.

1973 – Primeira linguagem de programação de robôs: WAVE seguida em 1974 pela AL. As duas deram lugar mais tarde ao aparecimento da VAL, linguagem comercial da Unimation.

1974 – Desenvolvido em Stanford o braço robótico com sensores de pressão e toque, usado para montagem de pequenas peças. O professor Scheinman, de Stanford abre a Vicarm inc. para lançar uma versão comercial do braço de Stanford.

1977 – Unimation compra a Vicarm.

1978 – PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) lançado pela Unimation, usando a tecnologia adquirida na compra da Vicarm.

1979 – SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm) desenvolvido pela Universidade de Yamanashi com lançamento comercial em 1981 pela Sankyo e IBM.

1980 – *Boom* da indústria robótica, com um novo robô ou uma nova empresa de robótica a cada mês.

1981 – Robô com atuação direta (“*direct drive*”) desenvolvido na CMU.

1982 – FANUC e GM formam uma *joint venture*, a GM FANUC para comercializar robôs na América do Norte.

- 1983 – Primeira linha flexível de montagem automatizada usando robôs é projetada.
- 1986 – Kawasaki começa a produzir seus próprios robôs após o fim da licença da Unimation.
- 1994 – Interface *Windows* para aplicações robóticas.
- Simulação em robôs virtuais.
- Uso de *fieldbus*.
- 1995 – Lançado o sistema robotizado para cirurgias pela Intuitive Surgical.
- 1996 – Cooperação entre robôs.
- 1997 – A Honda anuncia o primeiro robô humanóide que sobe escadas.
- NASA envia robô a Marte, o Mars PathFinder.
- 1998 – Sistema de detecção de colisões.
- 2000 – Honda lança Asimo, segunda geração de robôs humanóides.
- 2002 – Um robô é usado pela primeira vez em uma guerra (invasão dos EUA no Afeganistão).

## 2.4 Robôs na Indústria

Este panorama mundial sobre o uso de robôs em indústrias é baseado na publicação das Nações Unidas, *World Robotics 2003* (KARLSON, 2003) em associação a Federação Internacional de Robótica ([www.ifr.org](http://www.ifr.org)). Aqui tentaremos sintetizar os dados mais relevantes desta pesquisa.

A Tabela 1 mostra a evolução dos aspectos ligados à robótica de 1990 em relação ao estado em 2000.

Preço médio de um robô	-43%
Número de robôs produzidos	+782%
Número de variações do produtos disponíveis aos consumidores	+400%
Capacidade de manipulação total	+26%
Precisão de repetição	+61%
Velocidade dos 6 eixos	+39%
Alcance máximo	+36%

Tempo médio entre falhas	+137%
RAM em Mbytes	superior a 400 vezes
Tamanho de bit do processador	+117%
Número máximo de eixos controláveis	+45%

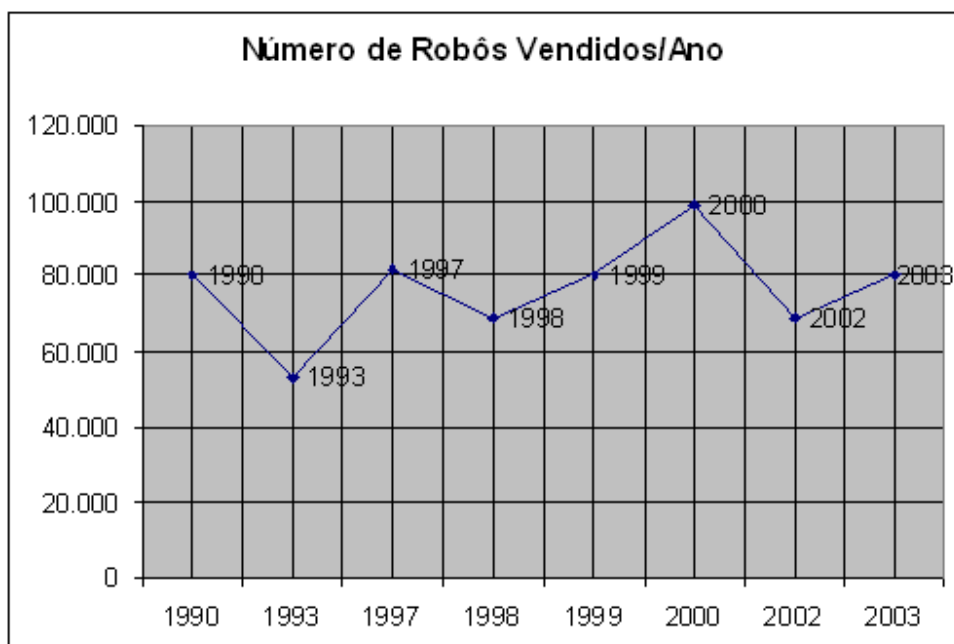
**Tabela 1: A evolução dos robôs**

Cabe ainda ressaltar que o preço dos robôs, com uma queda de -43% não leva em conta que o robô entregue em 2000 é muito superior tecnologicamente ao robô produzido em 1990, como podemos ter uma idéia vendo os outros itens da tabela acima.

Se levássemos em conta a diferença tecnológica a queda de preço seria de cerca de 75%, isso quer dizer que caso fosse possível produzir um robô com a tecnologia atual, em 1990, ele custaria hoje um quarto do preço que teria custado em 1990.

#### **2.4.1 Economia Mundial e a Produção de Robôs**

As vendas de robôs industriais atingiram seu pico em 1990, quando foram vendidas mais de 80.000 unidades. Seguindo a recessão de 1991-1993 as vendas mundiais caíram para aproximadamente 53.000 em 1993. A produção de robôs iniciou então um período de recuperação, atingindo seu pico em 1997 com 82.000 robôs produzidos. Em 1998 as vendas mundiais caíram para 69.000 unidades. O mercado recuperou-se rapidamente e em 1999 foram vendidas 80.000 unidades. Em 2000 um novo pico com 99.000 robôs vendidos e em 2001 e 2002 novas quedas fechando em 68.900 unidades em 2002, conforme o Gráfico 1 (KARLSON, 2003).



**Gráfico 1: Número de robôs vendidos/ano**

Apesar da queda de 12% nas vendas de robôs em 2002 em relação ao ano anterior, comparativamente em relação ao mercado de máquinas ferramentas, o mercado de robótica caiu pouco. A Tabela 2 faz um comparativo:

País	Máquina ferramenta	Robôs
EUA	-36%	-8%
Alemanha	-20%	-7%
Japão	-36%	-11%

**Tabela 2: Comparativo entre máquinas ferramentas e robôs em 2002**

Como notamos, nestes três países o mercado de máquinas ferramentas teve um desempenho aproximadamente três vezes pior que o de robótica durante um período de crise.

Apesar de em 2002 o número de robôs vendidos ter sido de somente 68.600, em 2003 tivemos uma melhora considerável, com pedidos da ordem de 80.000 unidades.

### 2.4.3 Estoque Mundial de Robôs

Como estimativa do número total de robôs no mundo em 2002 é indicado (KARLSON, 2003) um mínimo de 770.000 unidades e um máximo possível de 1.050.000 unidades. A

estimativa inferior leva em conta uma vida útil média de 12 anos para os robôs vendidos. Entretanto pesquisas feitas pela IFR/UNECE (KARLSON, 2003) indicam uma vida média 15 anos, o que resulta em um estoque atual correspondente a maior estimativa.

A Tabela 3 de KARLSON fornece números do estoque de robôs em 2002 e as previsões para 2006.



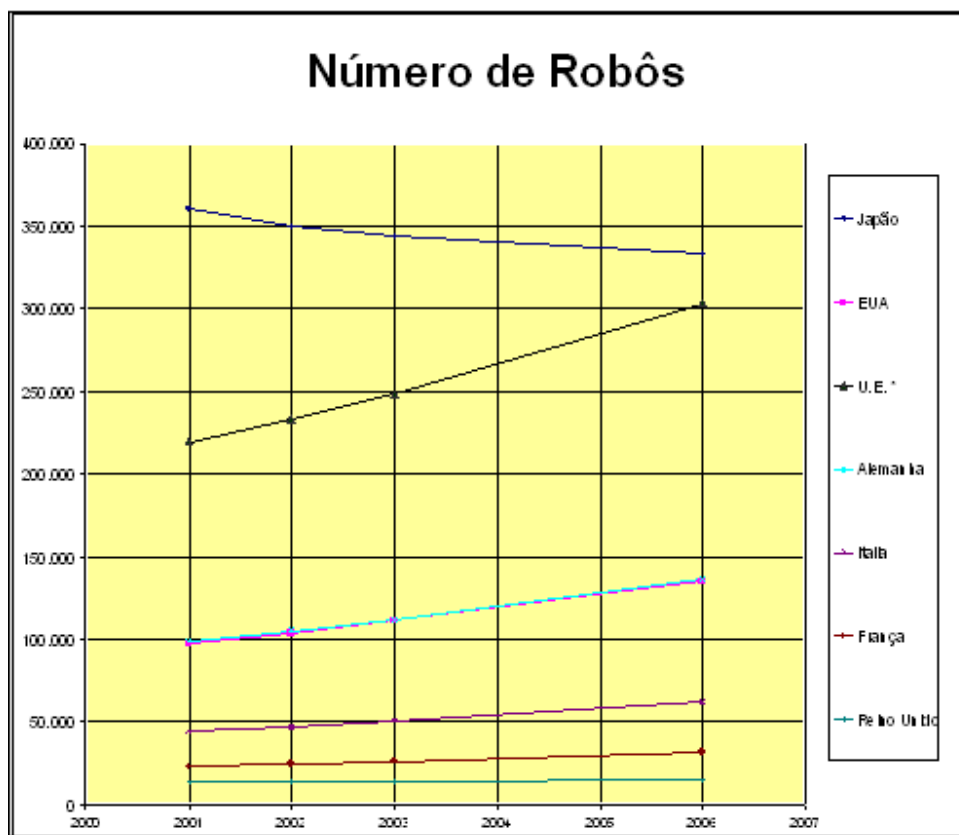
<b>País</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>
Japão	361.232	350.169	344.000	333.400
EUA	97.257	103.515	111.100	135.200
<b>União Européia *</b>	<b>219.515</b>	<b>233.139</b>	<b>248.100</b>	<b>303.500</b>
Alemanha	99.195	105.217	111.300	136.400
Itália	43.911	46.881	50.500	62.000
França	22.753	24.277	25.900	31.700
Reino Unido	13.411	13.651	13.700	14.400
Áustria **	3.153	3.521		
Benelux (Bélgica, Holanda e Luxemburgo) **	8.590	8.674		
Dinamarca	1.683	1.853		
Finlândia	2.927	3.023		
Portugal	800	844		
Espanha	16.378	18.352		
Suécia	6.714	6.846		
<b>Europa - Outros *</b>	<b>11.002</b>	<b>11.013</b>	<b>10.500</b>	<b>12.100</b>
República Tcheca **	985	1.025		
Hungria	120	176		
Noruega	618	664		
Polônia	520	644		
Rússia **	5.000	5.000		
Suíça **	3.759	3.504		
<b>Ásia/Austrália</b>	<b>56.997</b>	<b>60.412</b>	<b>64.300</b>	<b>73.300</b>
Austrália	2.953	3.310		
Coréia do Sul	41.267	44.265		
Singapura	5.458	5.346		
Taiwan	7.319	7.491		
<b>Outros Países</b>	<b>10.374</b>	<b>11.640</b>	<b>12.900</b>	<b>17.800</b>
<b>Total</b>	<b>756.377</b>	<b>769.888</b>	<b>838.400</b>	<b>875.300</b>

\* Tabela é anterior à data de entrada de novos países a UE.

\*\* Número de robôs estimado pela UNECE e IFR.

**Tabela 3: Número de robôs no mundo**

No Gráfico 2 abaixo podemos analisar os dados da Tabela 3.



**Gráfico 2: Número de robôs**

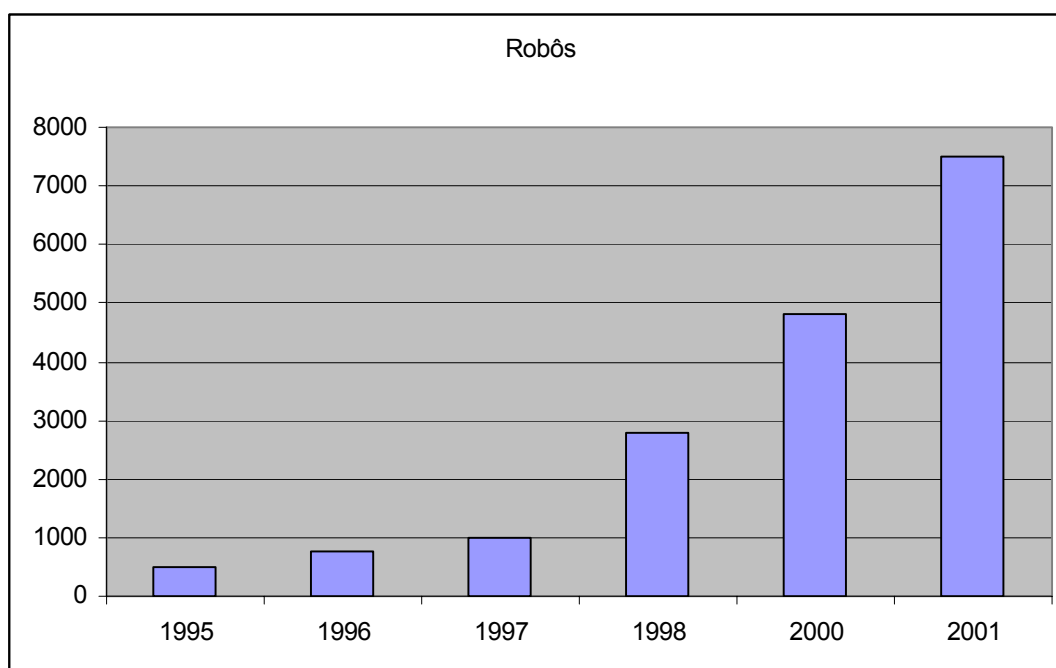
No Gráfico 2 vemos o Japão sofrendo o fenômeno chamado por KARLSON de “erosão tecnológica”. Depois de uma “febre” por robotização, agora o estoque de robôs começa a diminuir. Também cabe ressaltar que o Japão possui um estoque tão alto de robôs, comparativamente aos demais países, devido ao conceito do que é considerado um robô no Japão, conceito este muito menos rígido que o utilizado pela União Européia e pelos EUA.

No Gráfico 2 é visível a similaridade entre Alemanha e Estados Unidos.

Na Europa a Itália destaca-se no número de robôs, sobre tudo em indústrias automotivas como a FIAT, com elevado grau de automação. É interessante ainda notar o Reino Unido, berço da revolução industrial, como o menos expressivo do grupo em número de robôs.

#### 2.4.4 Robôs no Brasil

As estatísticas quanto ao número de robôs no Brasil são imprecisas. SANTOS (2003) afirma termos cerca de 8.000 robôs no Brasil, no ano de 2001, conforme vemos no Gráfico 3 extraído de sua tese.



**Gráfico 3: Robôs no Brasil**

O maior fornecedor do mercado nacional hoje é a sueca ABB – Asea Brown Boveri ([www.abb.com](http://www.abb.com)), seguida pela alemã KUKA e pela japonesa FANUC (SANTOS,2003). Não há no Brasil hoje nenhum fabricante de robôs industriais, todos são importados.

Ligando diretamente para a ABB em São Paulo, a informação dada é de que aqui existem cerca de 2.000 robôs ABB. Ela também confirmou ser a líder em robôs instalados no Brasil, seguida pela FANUC e KUKA, uma informação contraditória a encontrada no trabalho de SANTOS. Estas duas últimas foram contatadas via e-mail, mas não informaram o número de robôs que têm instalados no Brasil.

A indústria automobilística foi a primeira a empregar robôs no Brasil. A Volkswagen instalou, em 1982, o primeiro robô industrial em sua linha de produção (SANTOS, 2003).

## 2.4.2 Aplicações dos Robôs

As principais aplicações industriais dos robôs (OLIVEIRA) são:

1. Manipulação de Materiais: manipulação de peças, armazenamento, transporte e tratamento térmico (fundição e forjaria).
2. Carregamento de Máquinas: máquinas de modelagem, prensas automáticas, centros de usinagem e centros de torneamento.
3. Tratamento de Superfícies e Vaporização (*spray*): pintura e aplicação de resinas.
4. Usinagem: furação, rebarbamento e polimento.
5. Montagem: encaixe de peças e parafusadoras.
6. Inspeção e Controle de Qualidade: controle de posicionamento e medição dimensional.
7. Soldagem: solda ponto a ponto e solda contínua.

Quanto ao tipo de indústria que mais investe em robôs nota-se o ramo automotivo. Desde o início da utilização de robôs em ambientes industriais, em 1961 com o robô UNIMATE comprado pela General Motors, até em dados mais recentes, como os produzidos em 2003 na América do Norte, em que 68% foram usados na indústria automobilística e somente 32% para as demais aplicações, como o setor alimentício, plásticos, borracha, setor médico e eletrônico (ARBOR2, 2004) fica claro o predomínio do ramo automotivo.

Outra aplicação que vem crescendo muito é o uso de robôs em serviços, como limpeza e manutenção, em escritórios e em lares. Entretanto o valor em moeda dos robôs de serviço ainda é inexpressivo em relação ao montante investido em robôs industriais. Em 2002, o número de robôs domésticos estimado é de 54.000 unidades. Destacam-se os robôs usados para cortar grama e os recentemente lançados robôs aspirador de pó (KARLSON, 2003). As previsões para 2006 para robôs de serviço (corte de grama, aspirar pó e limpar janelas) são de que estes atinjam o número de 638.000 unidades.

Sobre a aplicação dos robôs, é interessante notar que a distribuição de custos relativo ao sistema robótico varia conforme o uso do robô. Em OLIVEIRA é apresentada a Tabela 4 com o desmembramento dos custos relativos a utilização de robôs em função da aplicação a que se destina.

<b>Tipo</b>	<b>Custo Básico do Robô (%)</b>	<b>Acessórios (%)</b>	<b>Instalação (%)</b>	<b>TOTAL (%)</b>
<b>Soldagem</b>	55	30	15	100
<b>Manipulação</b>	67	22	11	100
<b>Usinagem</b>	45	35	20	100
<b>Carga/Descarga</b>	55	20	25	100
<b>Pintura</b>	70	24	6	100
<b>Montagem</b>	40	35	25	100
<b>Média</b>	55	28	17	100

Tabela 4: Desmembramento do custo em percentuais

### 2.4.3 Densidade de Robôs nas Empresas

No Gráfico 4 abaixo apresentamos o número de robôs por 10.000 empregados nas indústrias de manufatura em 2002.

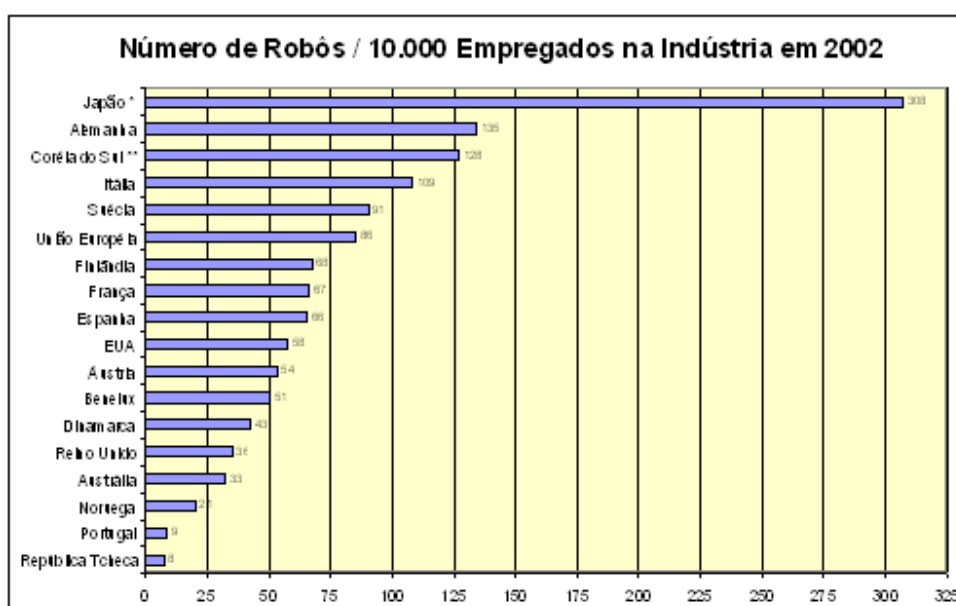
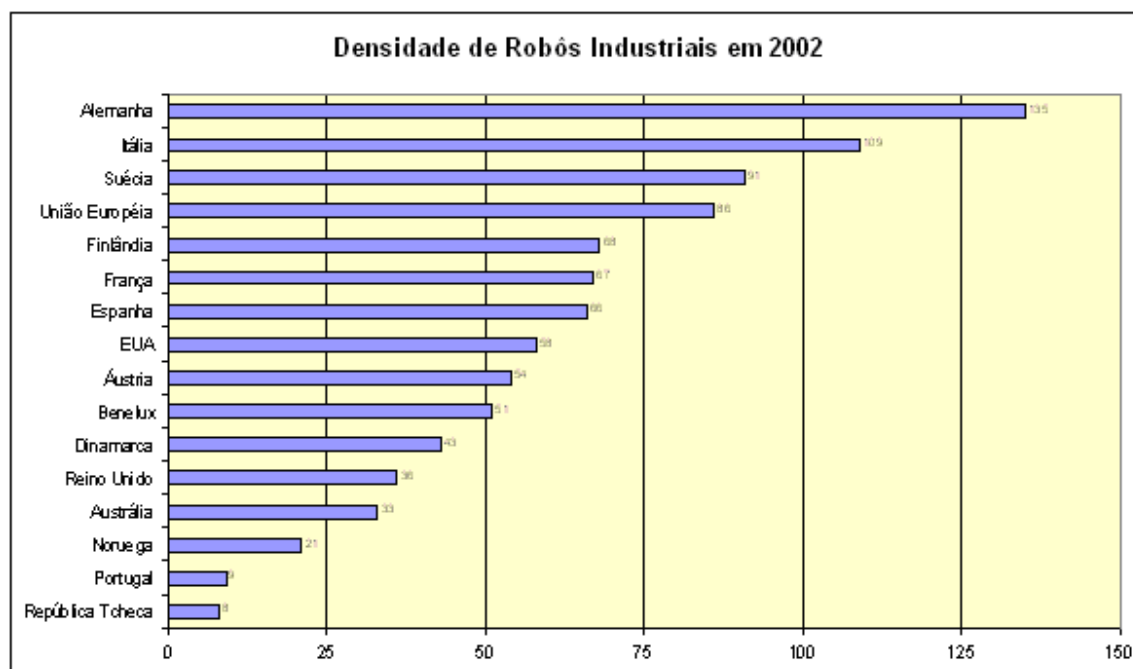


Gráfico 4: Número de robôs/10000 empregados na indústria em 2002

Cabe ressaltar aqui que os dados do Japão e Coréia do Sul não são comparáveis aos demais países, pois estes contabilizam todos os robôs juntos (industriais e não-industriais) e devido a isto seus dados são incompatíveis aos dos demais países, onde somente é contabilizado o número de robôs industriais. Analisando os dados excluindo Japão e Coréia do Sul temos:

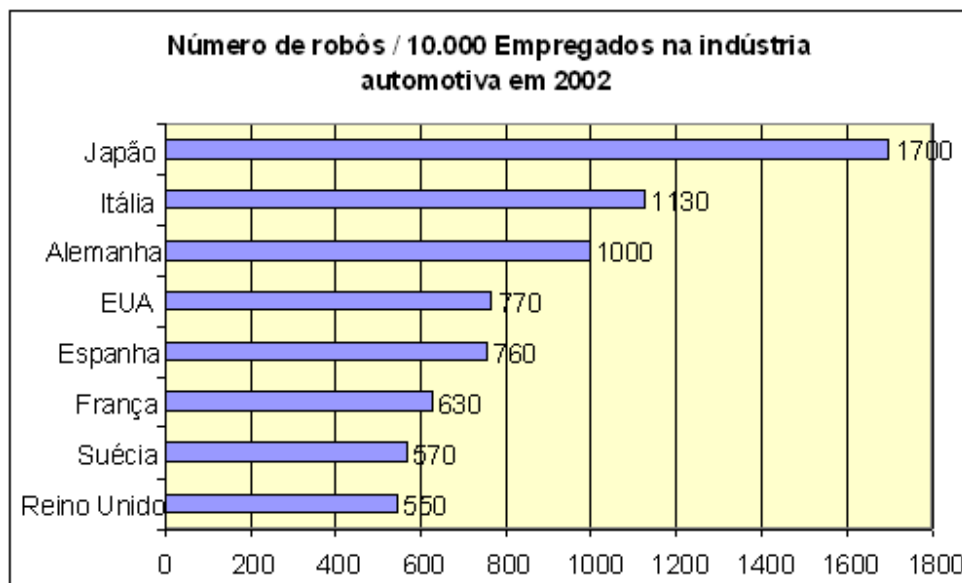


**Gráfico 5: Densidade de robôs industriais em 2002**

É interessante ressaltar alguns pontos no Gráfico 5. A supremacia alemã (135) na União Européia, a baixa densidade de robôs em Portugal (9). Além do fato de que em 2002 a densidade robótica nos EUA é praticamente a metade da densidade da União Européia. A Itália encontra-se em segundo lugar devido as indústrias automotivas, como a FIAT, altamente robotizadas. Em terceiro temos a Suécia, sede da ABB, uma das maiores fornecedoras de robôs do mundo.

Na indústria automotiva, onde o uso de robôs é mais intenso, a densidade robótica chega a ultrapassar a proporção de 1 robô para cada 10 empregados em países como Alemanha, Itália e Japão.

Abaixo vemos o Gráfico 6:



**Gráfico 6: Número de robôs/10000 empregados na indústria automotiva em 2002**

Cabe aqui ressaltar a FIAT italiana com uma alta densidade robótica, seguida pela Alemanha, país também tradicional na indústria automotiva.

#### **2.4.4 Custo do Robô em Relação à Mão-de-obra**

Atualmente, os países europeus e norte-americanos observaram os custos da mão-de-obra subir cerca de 50% do ano de 1990 para 2002 (KARLSON, 2003). No mesmo período o custo dos robôs caiu cerca de um quinto.

Vemos hoje duas tendências. A primeira trata-se da gradual substituição dos empregados de fábricas por robôs em indústrias, evidentemente nos países desenvolvidos, onde os custos trabalhistas são altos, comparativamente ao resto do mundo. A outra tendência é a exportação de empregos. Empresas com sede em países desenvolvidos migram instalando fábricas em países onde o custo da mão-de-obra é menor, notadamente a China.

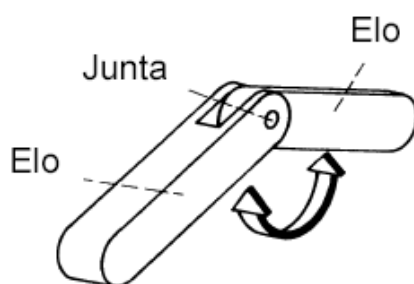
### **2.5 O Sistema Robótico**

Esta seção visa revisar o vocabulário próprio e os termos mais comuns usados em robótica.

Podemos dividir um sistema robótico em (SCIATICCO, 1996):

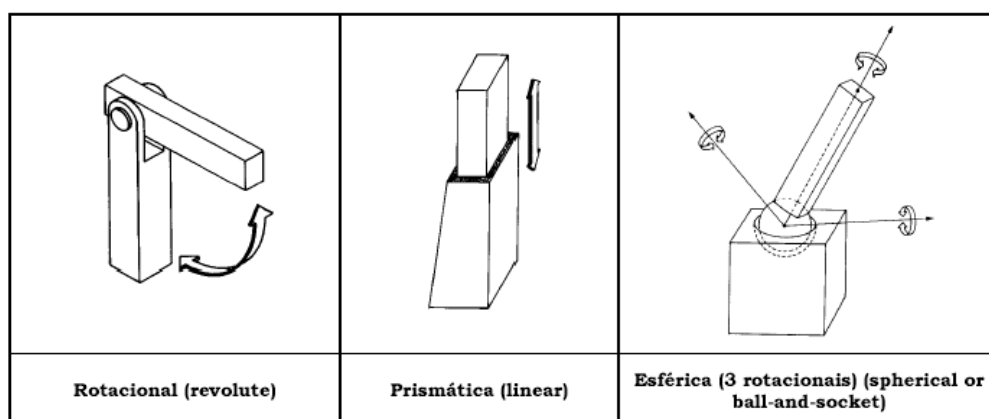
- 1 – Manipulador: uma seqüência de corpos rígidos (elos) conectados através de articulações (juntas).
- 2 – Atuadores: para posicionar o manipulador as juntas são movimentadas através de atuadores. Os motores utilizados são tipicamente elétricos ou hidráulicos, e ocasionalmente pneumáticos.
- 3 – Sensores: para medirem a posição, o *status* do manipulador e, se necessário, o *status* do ambiente.
- 4 – Sistema de Controle: permite o controle e a supervisão da movimentação do manipulador.

O manipulador é formado por elos ligados através de juntas, conforme a Figura 1 abaixo (OLIVEIRA, 2004):



**Figura 1: Junta e elo**

As juntas são tipicamente de rotação ou lineares (prismáticas). Juntas esféricas também são citadas na literatura, mas estas são uma composição de juntas de rotação. Uma junta de rotação é como uma dobradiça e permite uma rotação relativa entre dois elos. Uma junta prismática permite um movimento linear relativo entre dois elos.

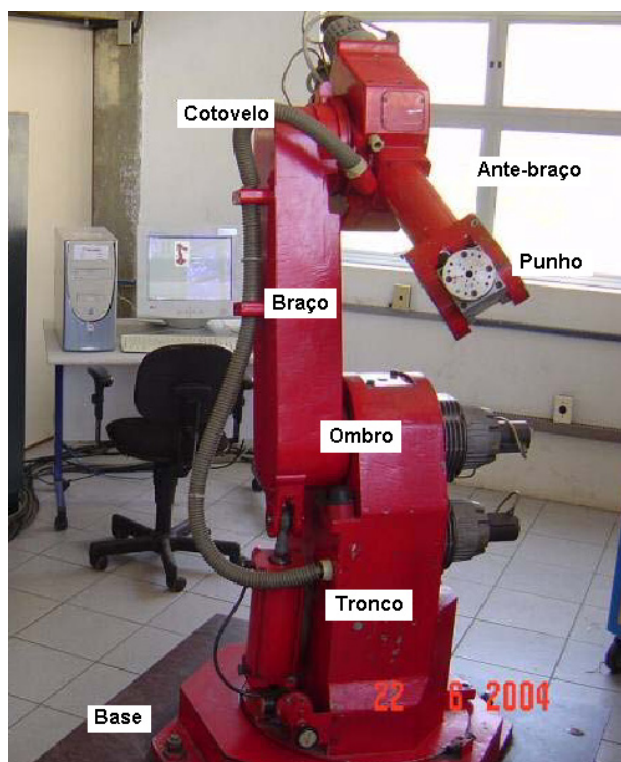


**Figura 2: Tipos de juntas (OLIVEIRA, 2004)**



O número de juntas determina (SPONG, 1989) os graus de liberdade de um manipulador. Tipicamente um manipulador deve possuir no mínimo 6 graus de liberdade independentes, três para posicionamento e três para orientação do efetuador final. Um manipulador com menos de 6 graus de liberdade não consegue atingir todos os pontos de seu espaço de trabalho com uma orientação arbitrária. Já um manipulador com mais de seis graus é dito redundante, pois pode atingir qualquer ponto com uma orientação arbitrária através de infinitas configurações.

Na Figura 3 abaixo, do robô REIS usado no projeto Roboturb, vemos um manipulador antropomórfico, cuja configuração assemelha-se à de um ser humano:



**Figura 3: Robô REIS**

1 – Base: elemento inicial e de referência. A base pode ser fixa ou móvel, dependendo do tipo de instalação.

2 – Braço: conjunto interconectado de elos e juntas que suporta e move um punho e um efetuador final. Com o braço tem-se um movimento unidimensional por junta. Com

uma junta temos uma trajetória. Com duas uma superfície e com três ou mais um espaço de trabalho.

3 – Punho: um conjunto de elos interconectados através de juntas, que situa-se entre o braço e o efetuador final. O punho serve para orientação e eventualmente para pequenas mudanças na posição do efetuador final.

4 – Efetuador final: Pode ser uma garra ou ferramenta, dependendo da aplicação do robô, acoplada na parte extrema do punho.

### **2.5.1 Cinemática Direta e Inversa (SPONG, 1989)**

A cinemática direta consiste em, a partir da leitura das posições da juntas do manipulador, e conhecendo a geometria de seus elos determinar, a partir disto a posição e orientação do efetuador final.

A cinemática inversa seria o problema contrário, dada uma posição e orientação no espaço, determinar a posição de cada junta para que o manipulador atinja esta posição e orientação.

## **2.6 Conclusão**

Analisando o uso de robôs na indústria mundial, podemos destacar alguns aspectos. Na distribuição do número de robôs vemos uma forte concentração nos países com forte desenvolvimento econômico e sobretudo nos que também são fabricantes de robôs. Também pode ser observado neste capítulo como o custo do robô vem caindo nos últimos 30 anos, enquanto o custo da mão-de-obra vem aumentando nos países desenvolvidos. O fato do desempenho dos robôs aumentar enquanto o preço destes cai, vem tornando-os cada vez mais economicamente viáveis as empresas.

No Brasil vemos um número de robôs pouco significativo e utilizados na maioria dos casos em grandes empresas, diferentemente do caso de países que produzem robôs, onde vemos um grande número de pequenas e médias empresas usando robôs.

## **3 Impactos Sociais e Econômicos**

### **3.1 Introdução**

O objetivo deste capítulo é expor e discutir os impactos sociais e econômicos de novas tecnologias. O texto parte de uma análise geral e posteriormente discute o caso específico da robotização.

Em uma primeira seção faremos uma breve retrospectiva histórica do trabalho. Depois abordaremos os impactos de novas tecnologias, da automação e da robotização.

Por fim é feita uma contextualização do Brasil, sua indústria e desafios em relação as novas tecnologias.

### **3.2 Tecnologia, Sociedade e Trabalho**

Egito, Grécia e Roma não deram grande contribuição ao progresso tecnológico como o fizeram na filosofia, literatura, teatro, arte, política e direito. Segundo DeMASI (2003, pág. 73) “Aristóteles estava convencido de que todo o possível progresso material do homem tinha sido atingido: portanto não restava senão dedicar-se ao progresso do espírito.”

A divisão do trabalho na Atenas do século 5 a. C. com seus 500 mil habitantes era a seguinte:

- a) 40 mil homens livres – dedicavam-se à política, ao estudo e à ginástica.
- b) 20 mil estrangeiros livres (metecos) – comerciantes com direitos políticos limitados.
- c) 140 mil mulheres e crianças – as mulheres executavam os trabalhos braçais e do lar.
- d) 300 mil escravos – executavam o trabalho braçal.

Para que uma minoria pudesse se dedicar à política, à filosofia, à ginástica e à poesia; a maioria, composta por escravos, mulheres e metecos, era encarregada das atividades pesadas, braçais, materiais, ou seja, tudo o que não fosse de ordem intelectual.

As condições sociais do império romano também podem nos ajudar a entender o quanto a humanidade mudou. Dos 50 milhões de habitantes entre 50 a.C. e 150 d.C. dez milhões eram escravos. Em Roma a expectativa de vida era de 25 anos e 50% das crianças morriam nos primeiros dez anos de idade (DeMASI, 2003 pág. 80-82).

Na organização de trabalho dos romanos cabia aos escravos o cultivo da terra, a extração das minas, as oficinas, tarefas domésticas, amamentação e favores sexuais. Tais

escravos duravam cerca de dez anos da escravização à morte. A demanda de escravos, que em 50 a. C. era de 100 mil por ano passou para 500 mil no período imperial.

Do trabalho escravo passamos ao artesanal. O camponês que tinha seu ritmo de vida ditado pelo sino da igreja começa a ceder espaço para o operário cadenciado pelo ritmo do relógio na fábrica, do campo para a cidade, do sino para o relógio, de camponês a operário.

Surgem os *Werkglocken*, sinos “leigos” que marcam o início, pausa e fim da jornada de trabalho. É o fim de uma era, onde antes o camponês se orientava pelo dia e pela noite para trabalhar, agora é o sino que diz ao operário quando ele deve trabalhar e quando deve repousar. Em 1354 surge, em Florença, o primeiro relógio público em uma cidade. Agora as horas dos negócios e das vinhas recebem uma medida precisa, assim como o trabalho noturno e a meia jornada são introduzidos. Apesar do ritmo de produção continuar o mesmo e do relógio agora ditar os horários de entrada e saída esta plantada a semente que será usada por Taylor. Do relógio surgirá o cronômetro, e dos ritmos aproximados passaremos à precisão extrema da organização científica (DeMASI, 2003, pág. 102).

Se para Aristóteles “todas as possibilidades práticas de progresso já estavam exauridas e restava apenas dedicar-se a evolução do espírito” para Francis Bacon (1561-1626) as doutrinas dos filósofos gregos eram “conversas fúteis de velhos ociosos e jovens ignorantes”.

Podemos sintetizar o período pré-industrial pelas seguintes características (DeMASI, 2003 pág. 110-11):

- a) O local de trabalho e a moradia ocupavam o mesmo lugar;
- b) Os que trabalhavam na oficina do artesão eram geralmente familiares;
- c) O artesão era dono de suas ferramentas de produção;
- d) O chefe da família era também o chefe do negócio, tinha o poder de decidir, disciplinar e punir;
- e) Quando um aprendiz não era filho do dono ele passava a viver sob o mesmo teto e fazer parte da família;
- f) Os afazeres domésticos e da oficina confundiam-se;
- g) A oficina produzia e geria seu produto do início ao fim: projeto técnico, artístico, matéria-prima, fabricação e venda;
- h) A clientela geralmente era restrita a vizinhança e o consumidor interagía dando sugestões na produção;

- i) Não havia divisão entre bairros comerciais, industriais e residenciais;
- j) Tecnologia rudimentar sem a energia elétrica ou a vapor.

Com o livro “A riqueza das nações” (1776), Adam Smith decretará a superioridade da indústria sobre a agricultura, do lucro e da mais-valia sobre a renda, da moeda sobre a troca e do egoísmo sobre a caridade. “Não é da benevolência do açougueiro, do cervejeiro ou do padeiro que esperamos o nosso almoço, mas do interesse que têm no próprio lucro pessoal.” O economista escocês identificou na divisão sistemática do trabalho um dos motores do triunfal avanço industrial, e através de seu exemplo usando a produção de alfinetes demonstrou como a produção usando a divisão do trabalho pode aumentar a produção 13 vezes, simplesmente especializando cada um dos operários em uma única tarefa.

Outro “pai” da era industrial foi Frederick Winslow Taylor, que usou e aprimorou os princípios da divisão do trabalho de Adam Smith. Taylor levou o cronômetro para dentro da fábrica. Ele tinha como princípio que todo trabalho físico deveria ser eliminado das fábricas. O objetivo do engenheiro era o de introduzir métodos e técnicas científicas capazes de reduzir sistematicamente o tempo e o esforço humano necessários à produção, subtraindo fadiga das atividades do homem e descarregando-a sobre as máquinas.

Outro conceito introduzido por Taylor é o de “trabalhadores de 1ª ordem”. Segundo ele, em cada serviço, intelectual ou manual, em todas as categorias existem trabalhadores médios e de primeira ordem que conseguem render de duas a quatro vezes mais que os médios. Por isso cada empregado deveria ser encarregado da tarefa mais correta para seu físico e sua habilidade. Em seguida este candidato ao emprego seria submetido a quantidade máxima de trabalho de um operário de primeira ordem. Caso ele conseguisse deveria ser contratado pagando-se de 30 a 100% a mais que a média de sua categoria.

Se Taylor inventou a teoria, foi Henry Ford (1863-1947) o engenheiro, que a colocou em prática na produção da máquina que mudaria para sempre o século 20, o automóvel. Ford iniciou a produção de automóveis investigando diversos modelos, mas foi o modelo T que mostrou-se o mais competitivo. Desta forma Ford decidiu que a partir de 1909 somente iria produzir o Ford T, preto. O carro só tinha esta opção de cor, mas custava US\$ 1.000,00 enquanto seu concorrente, um Mercedes, que poderia ser comprado em qualquer cor custava US\$ 18.000,00. Em 1913 a Ford gastava cerca de dez horas para construir um motor, após a implantação da linha de montagem este tempo caiu para 6 horas. Em pouco tempo a linha de

montagem passou a quadruplicar o rendimento de cada operário. Ford observou: “O resultado claro da aplicação destes princípios é a redução para o operário da necessidade de pensar e a redução ao mínimo de seus movimentos. Sempre que possível o operário faz apenas uma coisa com o mínimo de movimento.” (DEMASI, 2003, pág. 133-135).

A era Ford marcou a indústria orientada ao produto. Os carros produzidos por ele eram pretos e ponto. Em uma época em que a demanda era maior que a oferta a indústria ditava os valores. Os princípios básicos desta era foram:

- a) Padronização – dos produtos, preços e gostos;
- b) Economia de escala – o aumento das fábricas, hospitais, escolas, etc;
- c) Sincronização – do tempo de vida e de trabalho, a hora do *rush*;
- d) Centralização – das informações produtivas e meios de produção nas indústrias;
- e) Maximização da eficiência e produtividade.

Podemos sintetizar as características da sociedade industrial, adaptando (DeMASI, 2003, pág. 151-2):

- a) Concentração de grandes massas de trabalhadores assalariados nas indústrias;
- b) Migração da população do campo para a cidade;
- c) Predomínio da contribuição industrial na formação de renda nacional;
- d) Aplicação na indústria de descobertas científicas;
- e) Progressiva racionalização e organização científica do trabalho;
- f) Divisão do trabalho de forma a minimizar a parcela intelectual e maximizar a simplicidade das tarefas;
- g) Separação entre local de vida e de trabalho do operário;
- h) Urbanização e progressiva escolarização das massas;
- i) Luta de classes entre empregadores e empregados;
- j) Maior mobilidade geográfica social;
- k) Produção em massa;
- l) Difusão do consumismo.

Fica claro a perda de poder quanto ao ritmo e a quantidade de trabalho do trabalhador pré-industrial, o artesão e o trabalhador industrial, o operário. No caso do artesão, este definia quantas horas por dia iria trabalhar e em que ritmo. Ao acordar ele já estava na sua oficina, não gastava com transporte. Seu trabalho era próximo ao de subsistência. No caso do operário

esta decisão mudou. Ele não pode optar por trabalhar somente a quantidade de horas que julgar necessário, terá de trabalhar a jornada. A decisão de quanto o operário trabalha é da indústria e não dele.

Quanto a supervisão também há uma grande mudança. O artesão acompanhava a qualidade de seu trabalho e quem a supervisionava era o cliente, o consumidor final. No caso do operário ocorreu algo curioso: com o advento do tear mecânico “a máquina passa a supervisionar” o trabalhador conforme mostra LATOUR (2000, pág. 216). Antes do tear mecânico, falta de atenção do operador no processo manual acarretava em uma pequena deficiência do produto, as vezes de difícil percepção que podia ser disfarçada. Entretanto com o tear mecânico uma falta de atenção leva a uma ruptura grosseira e óbvia na produção, algo que não pode mais ser escamoteado e que resultava na perda dos ganhos que poderiam vir daquela peça. Agora o padrão de qualidade do trabalho é ditado pela máquina e as falhas denunciam erros do operador. Da mesma forma na linha de produção, não é necessário pedir, ameaçar ou supervisionar o trabalhador para que este trabalhe mais rápido, basta aumentar a velocidade da esteira da linha. A esteira dita o ritmo e o trabalhador que não acompanha é facilmente identificável.

A introdução da esteira também gerou uma grande reação operária, contrária a intensificação do trabalho trazida por ela (KATZ, 2004, pág. 4-5). Esta reação manifestou-se como sabotagem e absenteísmo. Apesar da esteira gerar maior produção ela por outro lado deixa a empresa mais vulnerável, pois qualquer problema que surja na linha tem a capacidade de parar todo o conjunto, não se trata de um problema isolado ou limitado, mas que abrange toda a fábrica.

Tais reações operárias ocorreram principalmente nas décadas de 60 e 70 e colocaram em xeque a eficiência do modelo proposto por Ford.

A era industrial trouxe o legado do consumo e produção em massa, a padronização, os carros pretos de Ford, o fim da diferenciação em nome da eficiência.

Por um lado os bens de consumo tiveram uma drástica queda de preço e ficaram acessíveis a uma fatia cada vez maior dos países industrializados.

Por outro lado os críticos indicam a deterioração da qualidade em troca da quantidade, uma progressiva perda da autonomia da maioria das pessoas, pois a uniformização, padronização da sociedade a tornaria mais vulnerável, mais manipulável.

Apesar das críticas, a industrialização trouxe muitos benefícios aos países desenvolvidos. A média de vida dobrou em apenas 3 gerações, bens de consumo tornaram-se mais baratos, conforme DeMASI (2003, pág. 167) “a industrialização trouxe com ela um aumento do poder aquisitivo e de bem-estar social” nos países desenvolvidos.

Da manufatura de escala passamos a manufatura flexível. Inicialmente tínhamos uma solução de compromisso entre uma produção rígida em um único produto com poucas variações e custos. Quanto mais rígida fosse a produção, menores seriam os custos. Com novas tecnologias ligadas a automação flexível, o custo associado a flexibilidade foi diminuindo, caracterizando uma etapa anterior onde a produção era orientada ao produto para passar a ser orientada ao mercado. Antes empresários competiam para produzir o refrigerador mais barato. Hoje compete-se para cada segmento de mercado, pois muitas pessoas querem pagar um pouco mais para ter algo um pouco melhor, ou muito mais por algo diferenciado. Não se compete mais pelo relógio de pulso mais preciso, a funcionalidade já foi alcançada, ninguém mais compra o relógio vendo a especificação técnica da sua precisão, o que conta é a beleza, o design, o marketing, para alguns o status agregado ao produto. A medida que o produto ou serviço exaure o seu dever prático, acentua-se a exigência de que seja mais refinado, original, primoroso. Passamos do culto a eficiência para o culto ao belo.

Na era industrial os problemas eram claros. As descobertas eram direcionadas aos problemas e necessidades da massa que se acumularam ao longo dos anos, ou em outras palavras, os problemas precediam as soluções. Hoje acontece o contrário, temos diferentes soluções para o mesmo problema, e cada uma delas adequada a um determinado contexto, segmento de mercado.

A empresa deixa de ser orientada ao produto e passa a ser orientada ao mercado.

Sob o ponto de vista da pirâmide de necessidades formulada por Maslow, a indústria satisfaz (nos países desenvolvidos) as necessidades básicas da maioria da população. Carros, eletrodomésticos, moradia, etc. estão acessíveis a maioria da população nestes países. Agora as necessidades passam ao degrau superior da pirâmide, os objetivos são ligados agora não mais as necessidades de propriedade, materiais, “primitivas” ou do “animal”, mas do ser humano, da estética, da satisfação intelectual.

O setor de serviços ganha participação neste contexto. Enquanto cada vez mais empregos são eliminados no setor industrial pela tecnologia, não necessariamente na mesma



proporção, novos empregos são gerados no setor de serviços. Daniel Bell em seu ensaio *The Coming of Postindustrial Society*, (DeMASI, 2003, pág. 171) faz um estudo sobre o crescimento do setor de serviços nos países desenvolvidos. Em 1870, dos 13 milhões de empregados nos EUA, somente três milhões dedicavam-se à produção de serviços; em 1940, dos 50 milhões de empregados mais de 24 milhões já trabalhavam neste setor. Entre 1960 a 1978 este mesmo fenômeno ocorreu na Alemanha onde a proporção de empregados no setor de serviços passou de 39% para 48%; na França de 40% para 54%; na Grã-bretanha de 47% para 58%.

### **3.2.1 Emprego: Braçal x Intelectual**

Devido ao impacto que a era industrial trouxe à sociedade, tendemos a analisar toda forma de trabalho sob o paradigma industrial, com valores industriais. Por exemplo, em uma fábrica tipicamente industrial, na linha de montagem, em uma atividade puramente mecânica, o número de peças montadas por um operário é uma função linear do tempo que ele trabalha. Se ele trabalhou oito horas irá produzir  $x$  peças, se trabalhar 4 horas o número de peças será  $x/2$  ou algo muito próximo. Este raciocínio faz muito sentido para atividades desta natureza.

Por outro lado, se tomamos uma atividade tipicamente criativa, um trabalho puramente intelectual, como um matemático tentando provar um teorema ou um publicitário pensando em uma campanha para um novo cliente, esta lógica de produção em função do número de horas trabalhadas muda radicalmente, não há mais uma previsibilidade no processo, não faz sentido considerar atividades destas duas naturezas, uma manual e a outra criativa, através do mesmo paradigma, o industrial.

Se o matemático esta em casa tomando o café e tem uma idéia ou estratégia para provar o teorema, devemos considerar que ele estava trabalhando em casa? Da mesma forma o publicitário, se durante suas férias em outro país ele tem uma idéia genial de como fazer a publicidade do novo cliente. Podemos considerar que ambos estão trabalhando?

No outro extremo, temos certeza que o operário não está trabalhando quando está em casa vendo televisão. Certamente ele não irá produzir mais peças durante o seu tempo livre.

Este diferença entre os dois casos é interessante, o trabalhador manual pára de trabalhar quando toca a sirene e ele desliga completamente de seu trabalho em casa. No outro extremo, o criativo, intelectual não para de pensar no seu trabalho, ele sai da empresa mas nem sempre,

e as vezes nunca, ele consegue desligar-se de sua atividade mental. Tal paradigma muda inclusive a forma como ele enxerga o mundo. Um publicitário tende a enxergar em tudo seu trabalho, em cada notícia, filme, viagem, livro, passeio, etc. pode ser uma fonte de matéria-prima para ele.

Estes casos extremos, do operário e do matemático ou do publicitário servem para ilustrar a gama de trabalhos existentes que vão das tarefas mais mecânicas as mais criativas. Evidente que a maioria dos empregos hoje é uma mistura destas duas atividades, algumas vezes pendendo mais para um dos lados. Um exemplo de profissão mista é a de programador, esse divide sua tarefa muitas vezes em “desenvolver o software” e “produzi-lo”. Quando o programador depara-se com uma situação inédita, um problema a ser resolvido, a elaboração de um algoritmo, ele está em um processo criativo, intelectual. Quando ele simplesmente está programando algo que já fez diferentes vezes, onde não há desafio ou dificuldade, simplesmente precisa de tempo para fazer algo que já sabe como será a implementação ele está “produzindo”, não está pensando, é algo automático, mecânico.

O que é apontado por autores como Domenico DeMASI (2003), Bertrand RUSSELL (2001), Daniel Bell, William BRIDGES (1994), KATZ e SICÇÚ (2004), etc. é que nos países desenvolvidos há uma tendência de diminuição de empregos industriais, ou manuais, e um aumento de empregos do tipo criativo, intelectual.

### **3.3 Impacto Social e Econômico**

Muitas descobertas científicas causaram modificações na sociedade. Por exemplo, com a agricultura o ser-humano começa a deixar de ser nômade e passa a fixar residência. Talvez um “sociólogo” da época poderia argumentar que a “tecnologia” da agricultura trouxe impactos negativos ao homem, como por exemplo confiná-lo agora a um único local, onde ele nasceria e morreria. Impedindo o conhecimento que antes ele adquiria por ser nômade e caçar em diferentes locais. Tal afirmação hoje nos parece absurda, afinal hoje sabemos que as vantagens superam em muito os pontos negativos, entretanto isto só pode ser dito hoje. De forma análoga vemos novas tecnologia causarem polêmica onde grupos debatem se os aspectos positivos superam ou não os inconvenientes ou aspectos negativos trazidos pelo “pacote” de uma nova tecnologia.

Um dos casos remotos mais curiosos a respeito é o caso de Vespasiano, um imperador da Antiga Roma, o primeiro da dinastia Flávia, que ocupou o Poder em 69 d.C. Durante a reconstrução do Capitólio, devastado pelas guerras civis, um artesão imaginou um mecanismo para transportar sem muito esforço humano as colunas de mármore para o alto das colinas. O imperador premiou o artesão pela idéia, mas absteve-se de adotá-la, porque teria provocado desemprego: “Deixem-me dar de comer ao povo miúdo.” A síndrome de Vespasiano, como assim ficou conhecida, sempre diminuiu o ritmo de difusão do processo tecnológico-organizativo em nome e em defesa dos índices de emprego (DEMASI, 2003, pág. 91). Até que ponto a atitude do imperador foi correta ou absurda? A lógica adotada é que só deve comer quem trabalha, mesmo que este trabalho seja inútil, improdutivo, não-sustentável. Por outro lado o que aconteceria com os trabalhadores dispensados? Seria possível realocá-los? A utilização daquela idéia, daquela “tecnologia” traria mais vantagens que desvantagens?

Com a revolução industrial o debate sobre estas questões gerou muita polêmica. Por um lado com a produção em massa o preço dos bens de consumo caía e permitia que muitas pessoas tivessem acesso aos mesmos, por outro a linha de produção trouxe mudanças drásticas ao regime de trabalho.

Ford, com a sua linha de montagem, trouxe ainda outro resultado interessante. Em 1914 sua fábrica contava com 7.882 tarefas diferentes, destas menos da metade requeriam executores em condição física normal, enquanto 4.034 delas não requeriam uma plena capacidade física. Das tarefas de precisão, 670 podiam ser executadas por pessoas sem ambas as pernas; 2.637 podiam ser executadas por pessoas de uma única perna; duas podiam ser executadas por pessoas privadas de ambos os braços; 715 podiam ser executadas por pessoas de um braço só e dez tarefas podiam ser executadas por cegos. Este aspecto positivo da utilização da divisão do trabalho não significa que hoje, as pessoas com necessidades especiais tenham conseguido conquistar o seu espaço de trabalho facilmente, mas o que mostra é que mesmo sendo difícil obter um emprego, hoje este espaço de trabalho existe, algo que durante o período anterior praticamente não ocorria.

Por outro lado a modificação no ambiente de trabalho trouxe seus problemas, os operários de Liverpool durante a revolução industrial viviam menos que os escravos brasileiros, argumento este que muito foi usado pelos defensores da escravidão no Brasil (CALDEIRA, 1995, pág. 163).

A discussão da síndrome de Vespasiano é feita hoje para a automação aplicada nas fábricas e para os robôs. Qual será o impacto, positivo ou negativo, trazido por estas tecnologias? Se por um lado a vantagem econômica trazida por novas tecnologias é amplamente aceita, por outro o impacto destas novas tecnologias sobre o emprego é um debate que ainda gera muita discussão. Enquanto muitas tecnologias estão associadas com corte de custos através da eliminação da mão-de-obra, existem por outro lado vários efeitos compensatórios, empregos gerados por estas novas tecnologias. O quanto este efeito compensatório é relevante e como ele redistribui e transfere os empregos é o ponto de debate.

### **3.3.1 Inovação de Produto e Inovação de Processo**

Ao analisarmos o impacto de uma inovação tecnológica, é possível classificarmos a mesma quanto ao tipo de inovação em foco. Em BASTOS (1998, pág. 61-62) temos a divisão entre inovação do processo e inovação do produto. A inovação do processo tem como objetivo o aumento da produtividade sem modificações no produto, enquanto a inovação do produto busca a modificação, a melhoria, a mudança do produto atual ou a criação de um novo produto.

As inovações de processos têm como objetivo a racionalização do trabalho, um aumento na produtividade, e com isso é esperado que causem, de forma isolada, a diminuição do volume de empregos.

Ao contrário, as inovações do produto tendem a criarem novos mercados como foi o caso do celular, internet e computador. Estes novos mercados tendem a aumentar o volume de emprego.

Por outro lado, caso o produto criado através da inovação de produto venha a substituir um produto antigo, como por exemplo o caso do DVD e do videocassete, vemos uma transferência de empregos de um ponto ao outro.

Deve-se ter em mente o processo híbrido da automação, onde uma inovação de produto, por exemplo, um robô ou um CNC, representa para uma outra indústria uma inovação no processo, no caso da indústria que compra o robô para substituir mão-de-obra.

A forma como uma inovação de processo afeta a sociedade também depende do tipo de demanda do produto produzido. Tomemos o exemplo de RUSSELL (2001 pág. 16-17), que ilustra isto da seguinte forma: suponha que as necessidades de consumo do mundo resumam-

se a alfinetes. Temos somente 10 pessoas trabalhando oito horas diárias para produzirem a quantidade de alfinetes consumida pelo mundo. Com a evolução tecnológica inventa-se uma máquina, que permite dobrar a produtividade de cada trabalhador, um caso de inovação de processo. Agora as 10 pessoas poderão produzir o dobro de alfinetes no mesmo período, oito horas diárias. Uma solução seria diminuir a jornada pela metade, ou seja, 10 pessoas trabalhando quatro horas produziriam os alfinetes necessários e teriam agora graças à tecnologia quatro horas a mais de tempo livre.

Mas o que acontece é o seguinte: as 10 pessoas continuam trabalhando oito horas. Como estes estão produzindo o dobro de alfinetes necessários para a humanidade, o preço do alfinete não cai mais, pois já é barato, sendo que o que ocorre é que o mundo comprará somente metade de produção e com isso as empresas precisam cortar custos, demitindo empregados, enquanto outras vão a falência, pois o lucro com a venda de alfinetes agora não é suficiente para cobrir os custos. No final, quando voltamos ao equilíbrio, temos cinco trabalhadores desempregados e cinco trabalhando oito horas diárias. O exemplo de Russell pode ser estendido usando o conceito econômico de elasticidade, encontrado em GARCIA (2001 pág. 47-54). Digamos que o produto seja fósforo no lugar de alfinete. Os fósforos assim como os alfinetes são produtos de demanda inelástica, ou seja, seu consumo aumenta a uma taxa bem menor que a da diminuição dos preços. Isso quer dizer: diminuindo os preços as pessoas vão continuar praticamente consumindo a mesma quantidade de fósforos. Ninguém comprará mais somente porque está mais barato.

Por outro lado se o produto fosse um aparelho de DVD, conforme analiso em um artigo (LEAL, 2004), estendendo o exemplo de RUSSELL (2001), a situação seria outra. O DVD tem uma demanda elástica, ou seja, seu consumo aumenta a uma taxa bem maior do que a taxa em que os preços caem. Isso quer dizer que caindo o preço do DVD pela metade provavelmente a quantidade comprada seria maior que o dobro. Neste caso o exemplo de Russell, escrito originalmente em 1935 (a edição do livro é de 2001), é um pouco mais complexo. O que acontece neste caso é o barateamento de bens de consumo, trazendo conforto a uma quantidade maior de pessoas. Conforme o produto vai barateando, sua demanda vai tornando-se mais inelástica, até a demanda ser suprida e uma nova baixa no preço não refletir em mais consumidores.

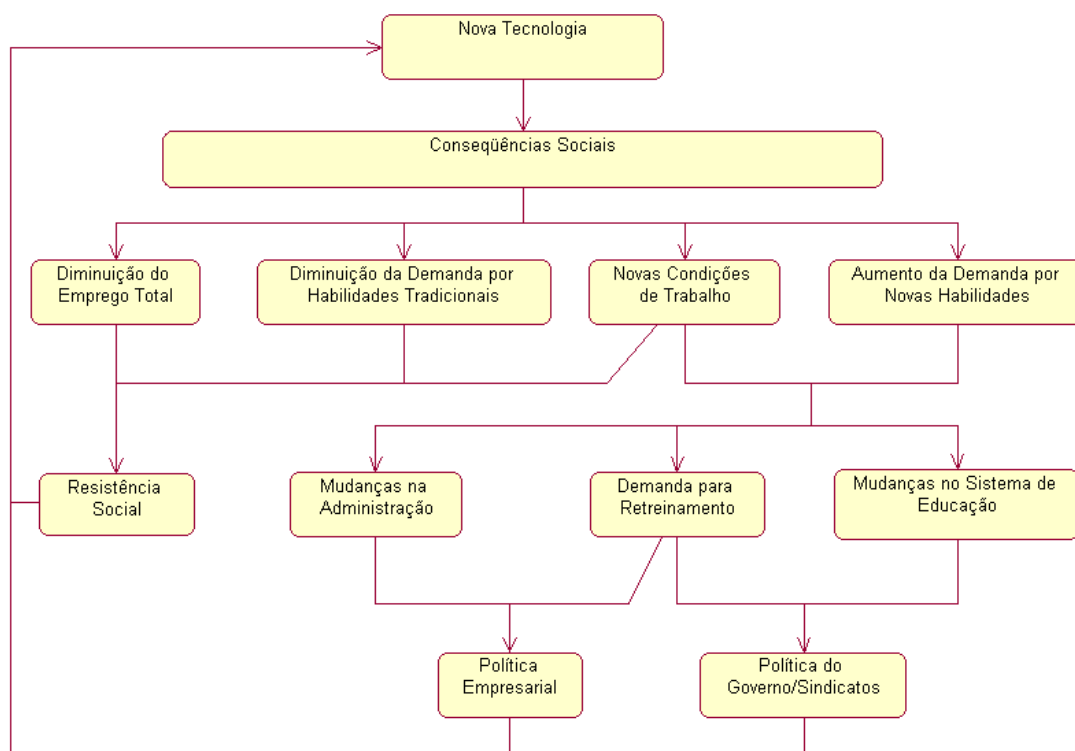
Taylor – empregando máquinas e métodos hoje considerado primitivos – conseguiu com que 35 pessoas, trabalhando 8h30min por dia, tivessem a mesma produção de 120 pessoas trabalhando dez horas por dia. Com este fato fica claro o efeito da tecnologia, em métodos e máquinas, sobre o trabalho humano necessário na produção de bens.

Outro exemplo, durante as grandes guerras mundiais tivemos a força de trabalho masculina retirada da produção de bens e mobilizada para atividades bélicas improdutivas (produção de armas que seriam consumidas). Cabe a seguinte colocação, durante estes períodos toda a produção de bens (alimentos, roupas, etc) foi feita pelas mulheres, que podemos considerar grosso modo 50% da força de trabalho. Ou seja, com metade da força de trabalho era possível manter a outra metade ociosa ou em atividades infrutíferas. Ao fim das guerras teria sido possível diminuir a jornada de trabalho pela metade.

Quanto ao impacto gerado por inovações de processo na produção de bens com demanda elástica e inelástica, cabe ressaltar que em ambos os casos a população geral acaba sendo beneficiada no longo prazo por produtos mais baratos. No caso de bens com demanda elástica os efeitos negativos ligados a diminuição de empregos na indústria fabricante são atenuados por um aumento na demanda.

No longo prazo os impactos de inovações tecnológicas acabam se refletindo tanto na qualidade quanto na expectativa de vida, dos que tem acesso aos bens de consumo. Sobretudo nos países desenvolvidos a tecnologia trouxe melhorias no padrão de vida da sociedade. A expectativa de vida que era de cerca de 30 anos para um Neanderdthal, passou a 35 anos com o homem no período pré-industrial e atualmente nos países desenvolvidos a expectativa de vida média é 75 anos (DeMASI, 2003, pág. 279-280). Uma dona de casa americana tem acesso a uma série de eletrodomésticos que são comparados a ajuda que na Grécia antiga se obtinha com 33 escravos.

Podemos ilustrar um esquema das conseqüências de novas tecnologias na sociedade extraído de (TCHIJOV, 1989, pág. 263):



**Figura 4: Impactos de novas tecnologias - TCHIOV**

Tomemos o caso da invenção da máquina ferramenta com controle numérico, ou máquinas CNC. Vamos analisar as consequências sociais de sua invenção através do esquema de TCHIOV.

Com a chegada da máquina CNC na indústria esta substitui gradualmente os tornos manuais. Esta substituição, esta “Nova Tecnologia” gera “Consequências Sociais”. Inicialmente no quadro “Novas Condições de Trabalho”, isto significa que agora o trabalho realizado para produzir uma peça mudou, a condição de trabalho, a forma do trabalho mudou. O que antes era realizado através de um torno manual agora é feito com uma máquina CNC. Se antes necessitávamos de um operador para o torno manual, agora necessitamos de um operador de máquina CNC. Isso nos leva ao quadro “Diminuição da Demanda por Habilidades Tradicionais”, que em nosso exemplo é a diminuição da demanda pela habilidade de operar um torno manual. No quadro “Aumento da Demanda por Novas Habilidades” vemos o aumento na demanda pelo operador de máquina CNC. Cabe aqui lembrar que objetivo de novas tecnologias é o aumento da produtividade, logo o aumento na demanda por operadores

de CNC deve ser menor que a diminuição de operadores de tornos manuais. A empresa, ao migrar do torno manual para o CNC, espera produzir o mesmo número de peças a um custo menor, neste caso a diminuição de custo é a redução da folha de pagamento. Tal diminuição nos postos de trabalho nos leva ao quadro “Diminuição do Emprego Total”, que irá gerar resistência na classe dos operadores de torno manual nos levando ao quadro “Resistência Social”.

As “Novas Condições de Trabalho” e o “Aumento da Demanda por Novas Habilidades” provocarão também “Mudanças na Administração” e “Demanda por Retreinamento”. Na hierarquia da empresa vemos a diminuição também de cargos gerenciais, como chefes de turno, de setor, em suma a diminuição de cargos intermediários entre os gerenciais e os operacionais. No caso do treinamento, vemos as empresas buscando treinar antigos operadores de torno manual para que estes tornem-se aptos a serem operadores de CNC, ou seja, a demanda por novas habilidades leva a empresa a treinar seus funcionários visando estas novas habilidades. Um terceira consequência ainda é apontada pelo quadro “Mudanças no Sistema de Educação”, onde com a consolidação da demanda por estas novas habilidades, ou seja, com a consolidação da demanda por operadores de CNC, começam a surgir modificações no sistema de educação visando preencher esta lacuna.

Por último temos os quadros de “Política Empresarial” e “Política do Governo/Sindicatos”, onde seriam representadas as adequações políticas a nova realidade da organização do trabalho.

Fazendo uma análise crítica do modelo de TCHIJOV vemos que ele foca em um ponto somente, não levando em conta, ou subestimando, os efeitos indiretos de uma nova tecnologia. No caso das máquinas CNC, quantos empregos foram gerados para inventá-las, produzi-las e comercializá-las? Quantos empregos são gerados para manutenção das máquinas? Quantos empregos são gerados em relação ao treinamento de pessoal para operá-las?

A tecnologia visa o aumento da produtividade, mudanças tecnológicas eliminam empregos em alguns setores e criam empregos em outros. Como ficam as coisas no balanço final? Há respostas para todos os gostos na literatura especializada, desde as que vêm a tecnologia como grande responsável pelo desemprego e desigualdade de renda até as que a consideram como a grande saída para se criar novos postos de trabalho e melhorar o bem estar humano.



A controvérsia do tema é grande. Mostrar isoladamente que a tecnologia elimina empregos é fácil, é só mostrar uma cortadeira de cana de açúcar substituindo 200 lavradores. Este seria um lado do discurso.

No outro lado tomemos o computador, a internet e o celular, que praticamente não existiam ou eram pouco difundidos antes da metade dos anos 90. Como avaliar o impacto destes três itens na economia? O celular substituiu o cigarro como o símbolo da auto-afirmação dos adolescentes. Como analisar os empregos ligados a celulares, computadores e internet e dizer que estas novas tecnologias não geram empregos?

Em seu artigo, PASTORE (2004) defende que caso a tecnologia provoque melhorias na saúde da empresa seus impactos serão positivos. Para isto cita o fato de “em 1960 o minuto de uma ligação telefônica entre Brasil e EUA custava US\$ 45,00 e em 2000 custava US\$ 3,50. Devido a isto as telecomunicações passaram a ser usadas de uma forma intensiva o que, por sua vez, movimentou novos negócios, facilitou transações, melhorou processos, criou produtos e gerou oportunidades de emprego”.

No caso da aviação, em 1960 a passagem São Paulo – Nova York custava US\$ 3000,00 e em 2000 o preço era de US\$ 600. O barateamento do transporte aéreo ampliou as oportunidades na área de turismo e de carga. A geração de empregos no setor de turismo foi imensa.

No transporte de cargas o barateamento proporcionou que as flores da cooperativa de Holambra em Jaguariúna, São Paulo, fossem embarcadas diariamente para chegarem em menos de 24 horas a consumidores em Nova York. O mesmo ocorreu com as frutas plantadas em Petrolina, Pernambuco. Em ambos os casos muitos empregos foram gerados.

Nos EUA no período de 1909-1919 o número de produtores de carruagens nos EUA passou de 70 mil para 26 mil. Em contrapartida, os trabalhadores das indústrias automobilísticas passaram de 85 mil para 394 mil. Entre 1930-1970 os trabalhadores ligados a telegrafia caíram de 87 mil para 24 mil e a telefonia gerou 540 mil novos empregos.

O ser-humano tem evoluído tecnologicamente e isso tem eliminado postos de trabalho, profissões foram extintas. Por outro lado estas descobertas tecnológicas, estas novas máquinas também necessitam de pessoas para inventá-las, para produzi-las, para vendê-las, para dar manutenção. O ser-humano tem vontade de evoluir, não se contenta com o que já tem e essa

atitude acaba gerando novos empregos, novas oportunidades, novas invenções, novas necessidades.

Caso resolvêssemos estagnar, nos contentássemos com as carroças e os telégrafos, cessássemos completamente nosso desejo por novos bens de consumo, por carros mais confortáveis, e decidíssemos viver com um padrão de vida parado no tempo, aí sim talvez as previsões do fim dos postos de trabalho fossem se concretizar.

Expandindo a discussão sobre o tema, MORI (1989, pág. 149) cita o trabalho de Ayres e Funk que classificaram os benefícios da automatização em cinco categorias:

1. Redução da força de trabalho
2. Aumento da capacidade de produção
3. Distribuição de capital
4. Aumento da qualidade dos produtos
5. Aceleração da melhora de desempenho dos produtos

MORI argumenta que no curto prazo os três primeiros itens só beneficiam o lucro de empresários, mas a população geral, no longo prazo teria produtos melhores com preços menores, o que faz sentido, visto a queda de preços de produtos industrializados ao longo da história.

Outros autores, que defendem a transferência e não a eliminação de empregos, como McCURDY (1989, pág. 299-300), argumentam ainda que é muito difícil achar exemplos históricos sustentáveis de desemprego causado pelo avanço tecnológico. Segundo ele a história mostra o contrário, países com uma rápida taxa de inovação tecnológica tiveram baixas taxas de desemprego.

McCURDY afirma que o desenvolvimento tecnológico e o uso da tecnologia proporcionam o aumento da produtividade, da renda e crescimento econômico. Quando trabalhadores são demitidos devido a substituição de suas tarefas por máquinas, tal desemprego seria temporário. A dinâmica de mercado devido ao barateamento do bem de consumo e suas conseqüências, como o gasto da renda em outros setores levaria a novas oportunidades de emprego e as taxas de desemprego voltariam ao normal. Uma exemplificação disso seria imaginar um bem que custe, por exemplo, R\$ 100,00. Com uma nova tecnologia o preço cai para R\$ 60,00. Os consumidores que antes gastavam R\$ 100,00

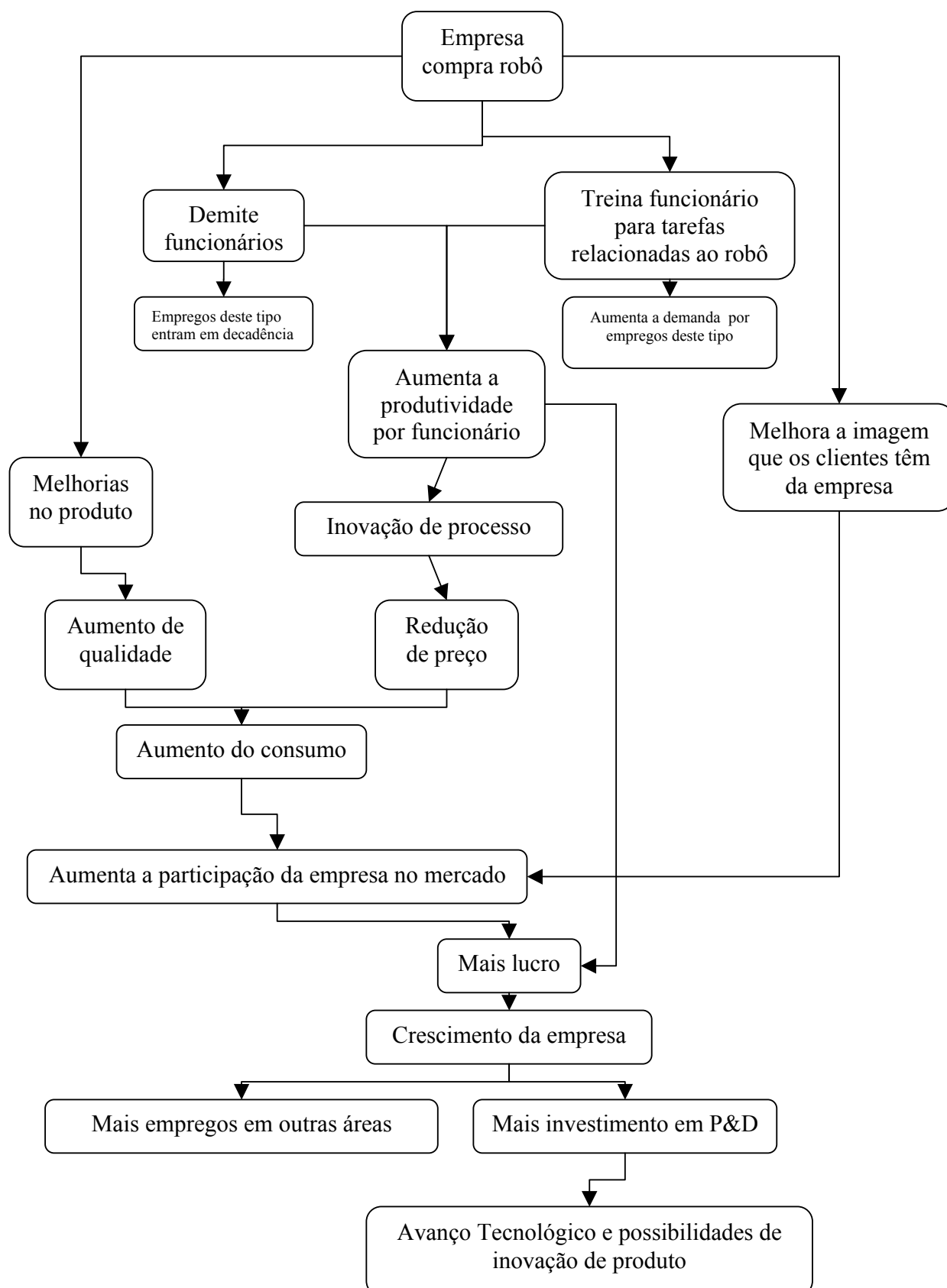
agora gastarão somente R\$ 60,00, os outros R\$ 40,00 serão gastos em outro setor da economia, gerando neste novo setor novos empregos.

Analisando o caso do avanço tecnológico sob o aspecto econômico, do ponto de vista do papel da empresa temos o seguinte: uma empresa que utiliza uma inovação tecnológica aumenta sua produtividade. Em um primeiro caso a empresa pode manter o preço de seu produto estável, demitir funcionários e com isso ter mais lucro, pois diminuiu custos e manteve a receita. Este lucro será de uma forma ou de outra reinvestido na economia, seja através da expansão da empresa, caso ela decida reinvestir os lucros, ou através dos acionistas, quando estes decidirem gastar o que receberam, através da taxaço do lucro pelo governo.

Caso a empresa decida usar o aumento da produtividade para baixar o preço de seu produto, ela poderá assim aumentar sua fatia de mercado, vender mais, o que irá pressionar para um aumento da produção, gerando assim empregos. Com preços mais baixos, mais pessoas têm acesso aos bens produzidos, o que pode melhor a qualidade de vida. Podemos ainda analisar esta mesma afirmação sob outra ótica. A inovação tecnológica aumenta a produtividade, isto é, a produção por indivíduo, se os indivíduos são mais produtivos estes poderão ter um padrão de vida melhor, o que vem ocorrendo ao longo da história, comprovado pelo aumento constante da expectativa de vida da população.

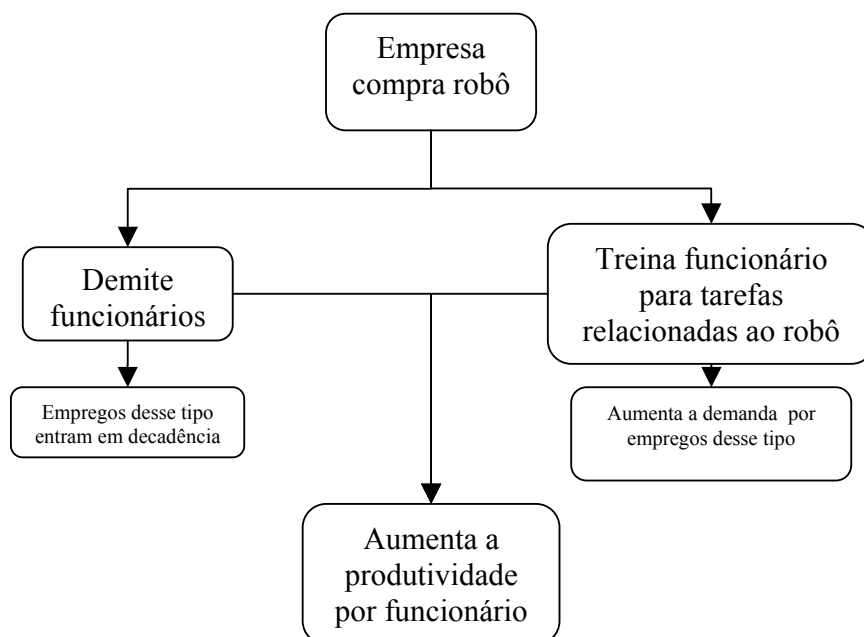
De uma forma ou de outra, seja baixando o preço do produto ou retendo o lucro o dinheiro voltará ao circuito econômico. Em ambos os casos haverá um aumento no consumo (EDLER and RIBAKOVA, 1994, pág. 262; KINOSHITA and YAMADA, 1989, pág. 216).

Podemos sintetizar o que acontece do ponto de vista da empresa, utilizando um exemplo de uma empresa que compre um robô, através do seguinte esquema da Figura 5:



**Figura 5: Ponto de vista da empresa**

Iniciamos pelo que leva a empresa a comprar o robô, ou seja, a perspectiva de conseguir uma maior produtividade por funcionário. Logo, quando temos:

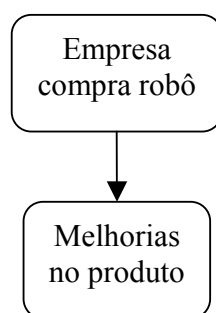


Vemos que a perspectiva da empresa é que o investimento no robô seja mais vantajoso economicamente que manter o processo manual. Geralmente por tratar-se de um investimento importante para a empresa, essa busca alocar um dos funcionários (engenheiro ou técnico) que executava a tarefa antiga e que, aos olhos da empresa, tenha uma boa capacidade de aprendizado e perspectiva de continuar na empresa, para assumir a responsabilidade sobre a operação do robô. Geralmente este funcionário recebe um treinamento, muitas vezes pela empresa fornecedora do robô. Os demais são realocados, se isso for possível, ou demitidos. Cabe aqui lembrar o fato de que muitas vezes investimentos deste tipo são feitos em épocas que a empresa passa por períodos de boa saúde financeira. Isso significa que geralmente não há a necessidade de demitir, é mais fácil a realocação do pessoal, ou algumas vezes o investimento em automação é feito como uma contingência para aumentar a produtividade. Entretanto, tão logo o período de aquecimento do setor passe, os funcionários que tiveram suas atividades substituídas pelo robô tendem a ser demitidos. Com essa dinâmica a empresa evita

maiores resistências, sobretudo no período de implantação da nova tecnologia, as demissões por sua vez são associadas com a crise ou desaquecimento do setor, e não com a implantação de novas tecnologias.

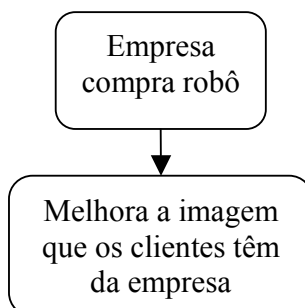
Como resultado final após um possível período de oscilações temos no equilíbrio uma empresa com uma maior produtividade por funcionário ou de forma equivalente, um produto que custe menos.

Outra possível consequência da automatização de um processo é a melhoria do produto.

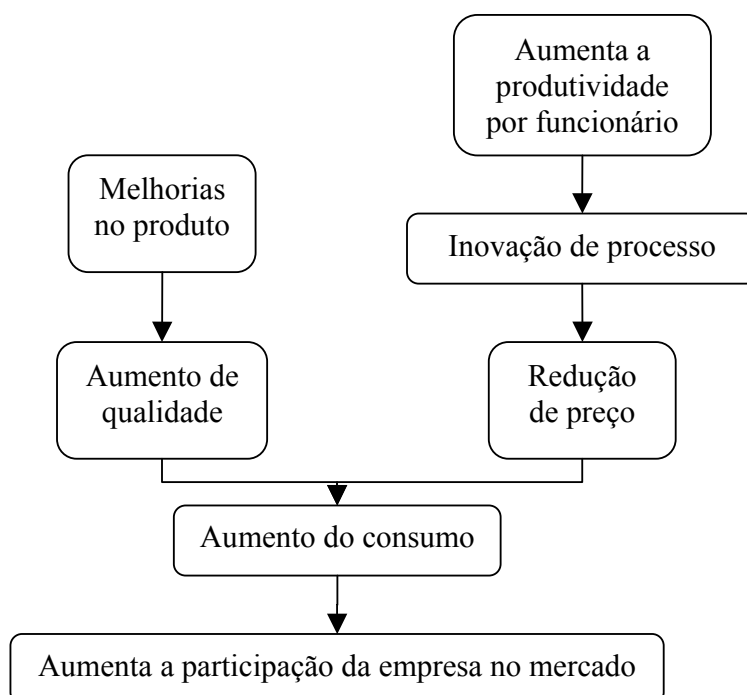


No caso de melhorias do produto, podemos dividi-las em dois grupos. O primeiro seria formado por melhorias relativas a qualidade que não alteram a característica básica do produto. Ou ainda um padrão de qualidade, não necessariamente superior ao manual, que agora é assegurado com a automatização. Dessa forma a empresa elimina o problema de grandes oscilações no padrão de qualidade dependendo da habilidade do operário.

O segundo seria formado por melhorias que alterariam o produto em si, transformando-o ou mesmo criando um novo produto. Este novo produto poderia ser ou não um substituto do anterior. Neste segundo caso temos uma possibilidade de inovação de produto, o que poderia levar a um novo mercado consumidor. Caso o novo produto fosse apenas um substituto do atual também poderíamos considerar que este teria uma vantagem competitiva sobre seu antecessor.



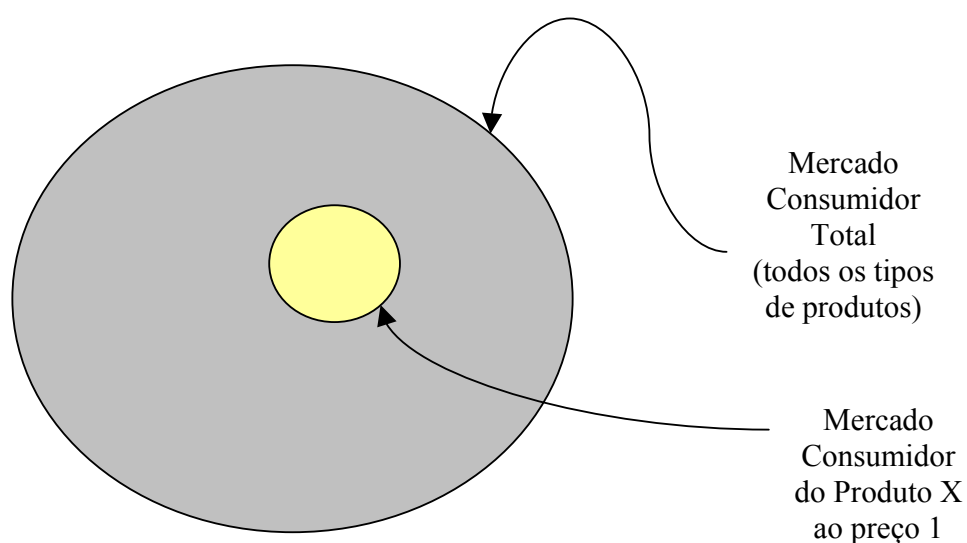
Com a difusão de novas tecnologias a melhoria de qualidade e uniformidade passou a ser associada com a automatização, de tal forma que em relações de cliente-fornecedor, a empresa que se automatiza tinha sua imagem melhorada *a priori* junto ao cliente. A utilização de novas tecnologias passou a ser um ponto de apoio do marketing.



Como vimos anteriormente (ver Inovação de Produto e Inovação de Processo, pág. 32) o aumento da produtividade, caracteriza-se por uma inovação no processo e leva a redução do preço.

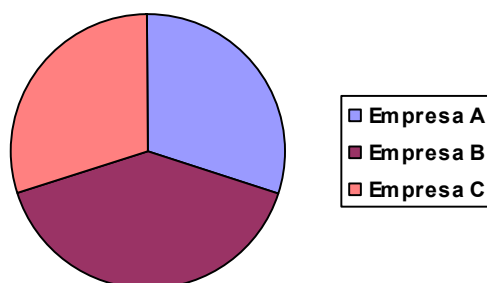
Analisemos o aumento do consumo e o aumento da participação da empresa através de um exemplo.

Tomemos “Empresa A”, que produz o produto X, um aparelho de DVD, digamos. Inicialmente a Empresa A vende o DVD ao preço 1, digamos R\$ 1000,00, nesse preço um percentual do mercado consumidor total compra aparelhos de DVD, digamos 10% do mercado. Como vemos na Figura 6:



**Figura 6: Mercado Consumidor**

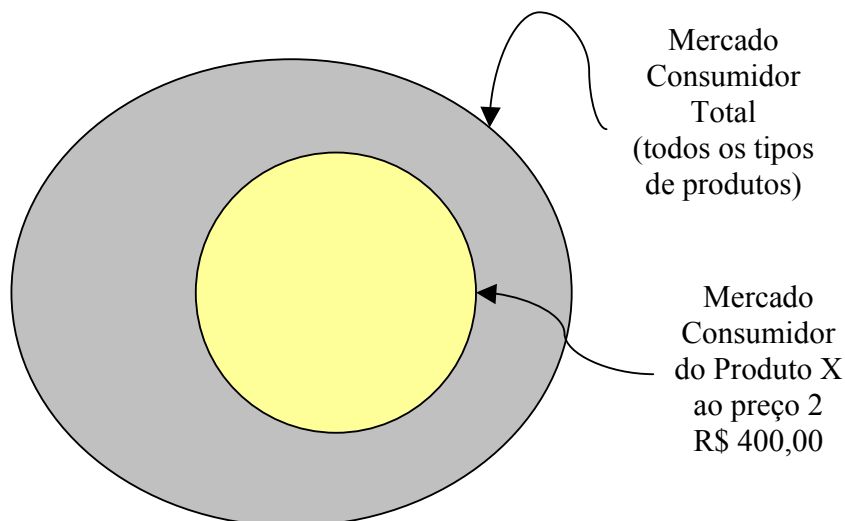
Nesse percentual, que representa o mercado consumidor de DVDs (círculo amarelo) a Empresa A disputa mercado com suas concorrentes, tendo uma participação de, digamos, 30%. Como o Gráfico 7 abaixo:



**Gráfico 7: Participação das empresas no mercado do produto X**

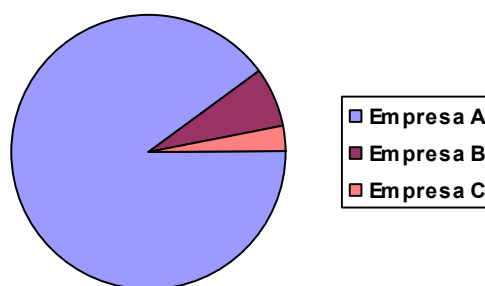


Ao adotar algum avanço tecnológico a Empresa A consegue aumentar sua produtividade e com isso reduzir custos na produção do DVD, conseguindo baixar o seu preço de R\$ 1000,00 para R\$ 400,00 (preço 2). Por R\$ 400,00 um percentual maior do mercado consumidor terá acesso ao DVD. Vemos então um aumento do mercado consumidor de DVDs em relação ao mercado consumidor total, representado na Figura 7 abaixo:



**Figura 7: Aumento do mercado consumidor**

Vemos agora um aumento no consumo de DVDs, e podemos imaginar uma nova distribuição nas fatias de mercado de cada uma das empresas, conforme o Gráfico 8:



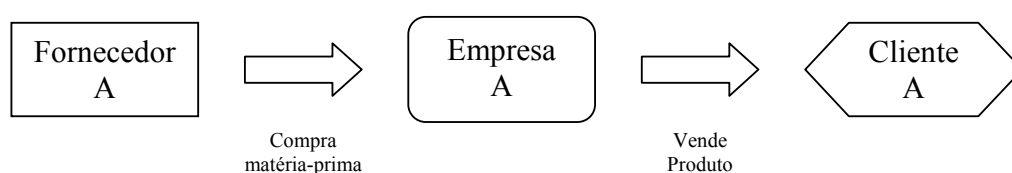
**Gráfico 8: Nova participação após mudança tecnológica**

Este exemplo foi feito para que pudéssemos frisar que a mudança de participação de mercado das empresas ocorreu enquanto se modificou o próprio tamanho do mercado consumidor para o produto em questão. Isso significa que 5% do mercado de DVDs antes da mudança tecnológica são bem diferentes de 5% do mercado de DVDs após a utilização desta

mudança pela empresa A. O consumo do produto aumentou, não foi apenas uma transferência de clientes das empresas B e C para a empresa A, mas um aumento no consumo total.

Além do incentivo ao consumo, ao automatizar sua produção a empresa está incentivando outras empresas, estas ligadas a automação e com isto aumentando a produção de máquinas ligadas a automação gerando mais empregos e investimento fixo.

Analisemos agora os efeitos do aumento do produto da automação ou da implantação de um avanço tecnológico no processo produtivo de uma empresa. Na Figura 8 abaixo temos uma cadeia de produção simplificada.



**Figura 8: Cadeia de produção simplificada**

No caso acima, “Cliente A” pode ser tanto o consumidor final quanto outra empresa que utiliza o produto da empresa A como matéria-prima.

Os efeitos da automação da empresa acima expandem-se as demais que são suas compradoras, representado por “Cliente A”. Agora “Cliente A” contara com um produto mais barato, o que irá também contribuir para uma vantagem econômica desse perante seus concorrentes. O aumento de consumo dos produtos feitos por “Cliente A” propaga em cascata dos efeitos nas empresas que fazem parte dessa cadeia de produção. Do mesmo modo beneficiam-se as fornecedoras, representadas por “Fornecedor A”, pois as empresas automatizadas ao adquirirem vantagem competitiva sobre as concorrentes tendem a aumentar sua participação no mercado e a produzir mais, necessitando assim de mais matéria-prima. De forma análoga as empresas rivais acabam prejudicadas pela vantagem obtida pela “Empresa A”, e passam em cascata a prejudicar os fornecedores e clientes de suas respectivas cadeias produtivas.

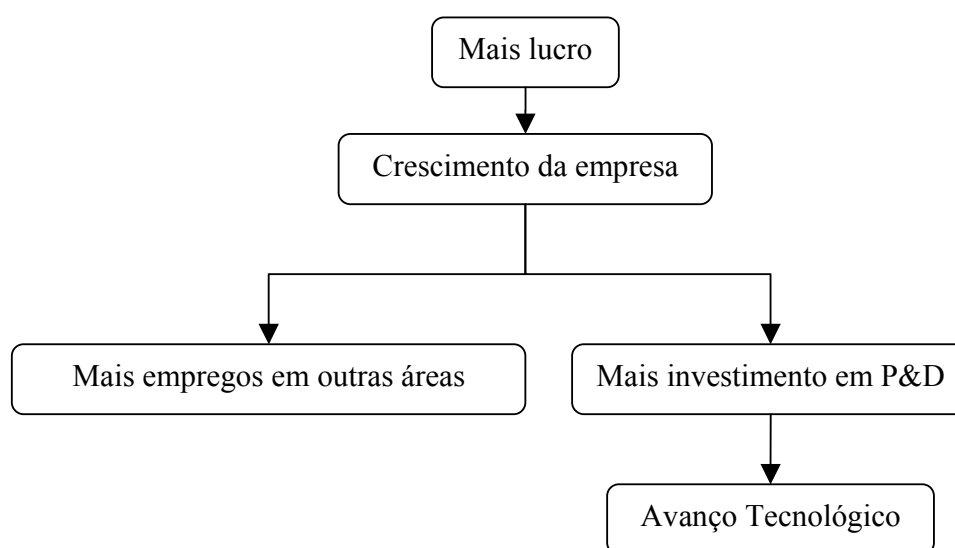
Neste ponto poderíamos nos equivocar pensando que os efeitos positivos na economia causados pela “Empresa A” sobre ela mesma, seus fornecedores e clientes seriam da mesma ordem que os efeitos negativos causados nas empresas rivais em suas respectivas cadeias, tendo assim um efeito anulador no balanço econômico. Entretanto não é este o caso, pois o

mercado consumidor que as empresas disputavam aumentou, como exemplificamos anteriormente (ver pág. 45), este aumento do mercado significa um aumento de consumo pelo produto. No balanço final a Empresa A aumentou sua participação em um mercado que também aumentou em termos absolutos, os efeitos positivos gerados na cadeia produtiva da Empresa A serão maiores que os negativos gerados na cadeia das rivais, desta forma o resultado é um aquecimento da economia como um todo.

Cabe ainda ressaltar a possibilidade da empresa A absorver clientes e fornecedores das empresas rivais que fiquem em desvantagem ou saírem do mercado.

Sob o ponto de vista de comércio internacional (KINOSHITA and YAMADA, 1989, pág. 216) ocorre algo semelhante. Países que comprem produtos de empresas automatizadas passam a pagar menos e são beneficiados, sobre tudo se usam estes produtos como matéria-prima. Por outro lado, países que concorrem no fornecimento de produtos passam a ser afetados pela automatização de um país concorrente. Seguindo o caminho, países afetados pela automatização de um rival acabarão no longo prazo afetando seus fornecedores, pois como perderão mercado acabarão por diminuir sua produção e sua compra de matéria-prima.

Retornando ao esquema temos sua parte final abaixo:



Aqui é importante destacar que os empregos gerados pelo crescimento da empresa serão em outras áreas, como por exemplo vendas, marketing, desenvolvimento de produto, manutenção, etc. A tendência é que não sejam gerados novos empregos no setor que sofreu a

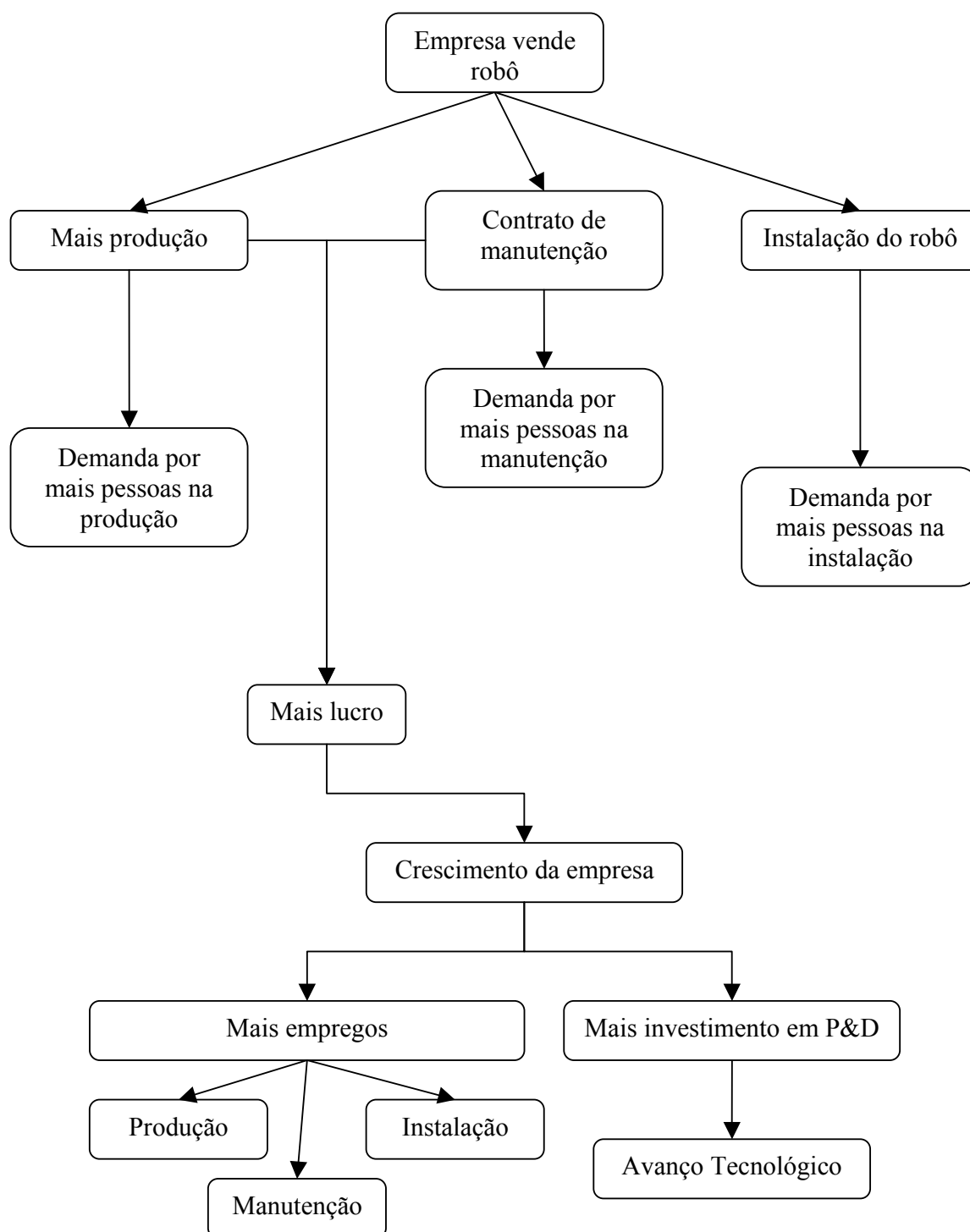
automação, logo isso funciona como dínamo para que certas profissões gradualmente percam sua importância e para que haja uma demanda maior de profissionais em outras áreas.

Outro ponto que merece destaque é o fato de que com mais lucro a empresa poderá investir mais em P&D. Esse investimento adicional abre a possibilidade para inovações de produto, formação de pessoal em pesquisa aplicada, exploração de novos nichos de mercado, etc. Ou seja, a possibilidade de uma inovação de produto que abra novos mercados e gere empregos é maior.

Como vimos acima, os impactos econômicos de uma mudança tecnológica na produção afeta não só os fornecedores e clientes da cadeia produtiva, mas também os concorrentes da empresa. McCURDY argumenta que por negligenciarem os efeitos indiretos e em rede, os estudos de caso isolados podem ser enganosos. Ele ainda argumenta que mudanças tecnológicas são dinamos e acabam levando trabalhadores a migrarem de setores decedentes para novas oportunidades em setores em crescimento da economia. Tal visão é similar a de TCHIOV onde novas habilidades são requisitadas pelo mercado, em alguns casos estas habilidades já estão lá, em outros precisarão ser criadas, retreinadas, ensinadas, de maneira que motivarão mudanças na educação, na política governamental, assim por diante.

O problema gerado pela diferença entre as profissões extintas e as que são criadas está fortemente ligado à educação. Quanto maior for essa diferença entre profissões, maior será o tempo de desemprego durante a migração da força de trabalho de um setor para outro. Um exemplo extremo seria o de um embalador de produtos de uma fábrica que é substituído por uma máquina automática. Argumentar com ele que seu trabalho foi extinto, mas que novos postos foram criados no desenvolvimento de máquinas automáticas não será de grande ajuda, se considerarmos a diferença no grau de educação necessária para cada uma das vagas.

Analisemos agora os impactos sob o ponto de vista da empresa que fabrica a solução de automação, como por exemplo um robô.



Vemos no esquema acima que os impactos para a empresa que fornece a solução são positivos. Com o aumento em vendas é esperado um crescimento da empresa e mais contratações nos setores de produção, manutenção e instalação. Cabe ressaltar que nesse ramo muitas vezes a venda de um produto relacionado a automação é seguida por um contrato de manutenção, gerando também receita para a empresa que vende o equipamento.

### **3.4 Automação da Manufatura**

A automação da manufatura, como o uso de máquinas CNCs, robôs, células flexíveis de manufatura e o uso de CAD e CAM teve seu início no final dos anos 60 e sua difusão no final dos anos 70 nos países desenvolvidos devido aos seguintes fatores (TCHIOV, 1989, pág. 262):

1. Mudança do paradigma das empresas de produção em massa para produção flexível em lotes.
2. Aumento da importância da qualidade nos produtos produzidos aliado a produção de peças de maior complexidade exigindo a substituição do controle humano pelo controle por computador.
3. Resistência social dos trabalhadores dos países desenvolvidos em relação a tarefas monótonas, trabalhos repetitivos, típicos da produção em massa. Isto gerou em países, como o Japão, em um aumento considerável dos salários para trabalhos com pouca qualificação.

O fator preponderante na decisão de compra de um equipamento para a automatização de uma tarefa foi, e ainda é o custo da mão-de-obra versus o valor do investimento na compra da máquina (ISHITANI and KAYA, 1989, pág. 118-119).

Outros pontos também influenciaram e influenciam nesta decisão, mas em menor importância, são vistos em alguns casos como ganhos secundários, como os que serão expostos a seguir.

Com o aumento da variedade dos produtos produzidos, passou a ser necessário a empresa treinar o funcionário para produzir diferentes produtos. Inicialmente o problema para a empresa era o aumento do tempo de treinamento de um funcionário. Antes, produzindo apenas um produto o tempo de treinamento era curto e com isso o custo da substituição da mão-de-obra era barato. Um funcionário que fazia apenas uma tarefa simples tinha menor

custo, seu salário era baixo pois ele era facilmente substituível. Quando funcionários passam a ser treinados para diversos produtos, o investimento feito pela empresa em treinamento começa a tornar-se caro e justifica um salário mais alto pois a saída de um funcionário experiente custa caro para a empresa, tanto em termos de produção como em qualidade.

Com a produção em lotes, as flutuações na demanda tornaram-se cada vez mais constantes. Sob o ponto de vista da empresa é muitas vezes mais vantajoso ter uma máquina que pode ser desligada do que demitir operários em uma época de menos encomendas. Com a reversão da situação, em um período de sobrecarga da produção é mais fácil deixar máquinas trabalhando 24 horas do que contratar mais funcionários. Muitas vezes o tempo de treinamento de novos funcionários é muito maior do que o prazo de entrega de um grande lote, inviabilizando esta possibilidade.

O problema de flutuações nos pedidos da empresa também reflete no controle e garantia de qualidade. A opção de usar funcionários fazendo horas extras pode causar um aumento considerável de problemas relacionados à qualidade e acidentes de trabalho. Para a empresa, a possibilidade de atingir e manter padrões de qualidade independentes da habilidade do funcionário e do volume de produção são muito atrativos.

Sob o ponto de vista de determinados processos, como a fabricação de microchips, por exemplo, a evolução da forma como estes são produzidos foi exigindo ambientes com condições de higiene rigorosas e com qualidade do ar controlada de tal forma que máquinas foram se tornando a opção mais viável para a garantia de qualidade exigida pelo processo.

Assim como o exemplo dos chips, algumas outras áreas de trabalho insalubres ou além da capacidade humana foram foco de automatizações, como operação com cargas pesadas ou radioativas, operações em ambientes controlados, operações que requerem alta precisão e repetibilidade.

Com a difusão da automatização, o grau em que uma empresa é automatizada passou a representar por si só um valor perante seus clientes pois estes começaram a considerar o nível de automatização como um nível de garantia de qualidade, algo que nem sempre correspondia as expectativas.

A constância da automatização proporcionou também as empresas uma maior facilidade de monitorar e prever a produção, elaborar relatórios, estatísticas, identificar gargalos, trabalhar com menores estoques, e assim por diante.

Sob o ponto de vista do funcionário, em países desenvolvidos, como o Japão por exemplo, o aumento da educação média de um trabalhador fez com que cada vez menos pessoas estivessem dispostas a desempenhar tarefas repetitivas e tediosas. Isto acabou gerando em alguns países um aumento salarial em uma mão-de-obra devido ao fator motivacional. Pessoas preferiam um trabalho que não fosse repetitivo com um mesmo salário.

De forma similar, nos países desenvolvidos a legislação trabalhista foi evoluindo e concedendo cada vez mais direitos aos trabalhadores e por outro lado tornando para as empresas este tipo de mão-de-obra cada vez mais caro. Dentre alguns exemplos podemos citar jornadas de trabalho menores, mais categorias passaram a ganhar adicional de insalubridade, maiores licenças maternidade e paternidade, limites da carga máxima transportada por trabalhador e assim por diante.

Antes da introdução das máquinas CNC as empresas consideravam-se muito dependentes das habilidades de alguns empregados, devido a força destes, seu poder de barganha junto aos sindicatos era considerado alto pelas empresas. Empregados que detinham alguma habilidade e percebiam que eram de difícil substituição aproveitavam tal situação, negando-se por exemplo (TCHIJOV, 1989, pág. 263) a trabalhar no turno da noite ou nos sábados. A implantação de processos automatizados veio ao encontro, ou até foi a resposta dos empresários a esta resistência, a este crescimento de poder do empregado.

Na implantação da automação algumas vezes a resistência social ou a inadequação dos administradores é muito mais difícil de ser superada que obstáculos tecnológicos (TCHIJOV, 1989, pág. 261). Entre os sindicatos na Europa e Estados Unidos, apesar da maioria apoiar inovações tecnológicas visando uma maior competitividade de suas empresas, a automação recebeu grande resistência entre os sindicatos devido ao temor da perda de empregos. Entre as exigências sindicais mais comuns temos (TCHIJOV, 1989, pág. 269):

- Aumento salarial ligado a treinamento
- Não demitir funcionários após implantação
- Plano de carreira para funcionários
- Restrição do número de máquinas sob supervisão simultânea
- Limitação do número de horas de trabalho na frente do monitor
- Semana de trabalho mais curta para programadores CAD



- Restrições no uso de informações computadorizadas por membros de fora da equipe
- Rotatividade de tarefas entre operadores de células de manufatura

Por outro lado a automatização também trouxe outros problemas às empresas, como por exemplo a dependência em relação ao fabricante das máquinas. O problema relacionado a manutenção no início foi de certa forma negligenciado. Aos poucos as empresas foram amadurecendo e ficando bem mais cautelosas em relação a essa questão. Atualmente, especialmente grandes empresas são muito mais preocupadas com os contratos de manutenção e a solidez da empresa fornecedora do que eram no passado. A experiência mostrou que saía muito mais caro comprar um equipamento barato e no momento de uma quebra do equipamento descobrir que a empresa fornecedora faliu.

Por serem máquinas relativamente novas, sob o ponto de vista tecnológico a mão-de-obra especializada geralmente era escassa e centralizada no fabricante. Fora este custo, a quebra na produção causada por uma máquina parada por tanto tempo era muitas vezes maior que o custo da manutenção.

As empresas ainda tiveram problemas para automatizar tarefas que envolvem partes sem rigidez, flexíveis ou complicadas. A dificuldade das máquinas em lidar com situações inusitadas também ocasionou grandes problemas e perdas as empresas.

No caso das montadoras de automóveis, após uma automação inicial em solda e pintura, automações futuras necessitariam de mudanças profundas no lay-out da fábrica, o que tornou em muitos casos os projetos inviáveis. Este problema é o mesmo encontrado por diversas fábricas um pouco mais antigas, onde o lay-out da fábrica não leva em conta a automação. Neste ponto fábricas novas têm um custo para implantar processos automatizados drasticamente menor, pelo fato de levarem em conta desde a concepção o uso de tecnologias ligadas a automação (ARAI, 1989, pág. 134).

### **3.5 Modificações na Estrutura do Emprego**

A difusão da automação nas empresas trouxe como principais modificações na estrutura do emprego:

1. Diminuição percentual do setor industrial em relação ao total de postos de trabalho
2. Aumento dos postos de trabalho ligado à prestação de serviços

3. No setor industrial a redução de postos de trabalho foi menor nos cargos com maior qualificação e maior nos de menor qualificação, tipicamente atividades ligadas ao chão-de-fábrica
4. Diminuição do número de camadas na pirâmide hierárquica da indústria

Em McCURDY (1989, pág. 311-314) é apontado como principal impacto da automação no Canadá a eliminação de empregos no setor de manufatura, construção e transportes de equipamentos. Os postos de trabalho mais afetados segundo esse estudo são os com menos qualificação e educação, tipicamente atividades de chão-de-fábrica. Como consequência o autor aponta a transferência destes empregos da indústria para o setor de serviços.

Segundo TCHIOV (1989, pág. 265) a automação levou a uma transferência de empregos dos menos qualificados tecnicamente para os mais qualificados. Em seu artigo ele mostra dados relativos a indústria inglesa que apontam uma redução de 30% na mão-de-obra com pouca ou nenhuma qualificação e um aumento no número de técnicos e engenheiros. Entretanto TCHIOV (1989, pág. 274) ressalta que quando os operários assumem tarefas mais criativas e responsáveis, eles tornam-se mais independentes de seus chefes, além de parte das atividades gerenciais serem absorvidas por tecnologias ligadas a manufatura automatizada. Isso transforma o papel desempenhado especialmente por gerentes e chefes intermediários na pirâmide industrial.

Cabe ressaltar aqui o trabalho de BASTOS (1998, pág. 71) onde é destacado o aumento da importância do trabalho de manutenção. Torna-se agora estratégico para o funcionamento ininterrupto das máquinas e passa a requerer conhecimentos técnicos mais aprofundados.

Analisando o impacto da difusão de novas tecnologias nos diferentes setores, BASTOS (pág. 63) coloca duas questões. A primeira seria como a difusão de novas tecnologias afeta a participação da indústria no emprego total. A segunda diz respeito a como essa difusão afeta o volume de empregos em termos absoluto do setor industrial.

Quanto a primeira, ele observa que na quase-totalidade das economias, a incorporação do progresso técnico tem levado a uma diminuição da participação da indústria em relação ao número de empregos em termos relativos, e que há em contrapartida um aumento percentual do setor de serviços.

Por outro lado Bastos chama a atenção para o fato de que, um aumento na participação do setor de serviços em relação ao industrial, não significa por si só, uma diminuição do número de postos de trabalho em números absolutos na indústria. Ele cita como exemplo o Japão no período de 70 a 90 onde a participação da indústria diminuiu, mas o número de postos de trabalho aumentou em termos absolutos e no setor industrial.

Ainda cabe ressaltar que dentro do setor industrial, a indústria considerada convencionalmente tradicional, como têxteis, vestuários e calçados, acaba eliminando mais postos de trabalho que indústrias ligadas a novas tecnologias, como por exemplo a eletrônica. Naturalmente indústrias que estejam ligadas a cadeias produtivas relacionadas com novas tecnologias, como a produção de robôs por exemplo, terão um crescimento maior conforme esta nova tecnologia difunda-se mais.

Quanto às habilidades do operário, antes tínhamos uma valorização pela destreza manual e a coordenação motora. Tais habilidades foram perdendo importância gradativamente.

Antigos operadores de máquinas, na França por exemplo (BASTOS, 1998, pág. 72) passaram, em um primeiro momento a realizar ajustes nos programas junto aos programadores.

As habilidades que tornam-se obsoletas variam dependendo de fatores sociais, do tipo da indústria, da natureza do processo e da forma como foi automatizado, entretanto é possível destacar algumas que ganharam importância, fazendo essas ressalvas. Entre elas podemos destacar a maior importância do raciocínio lógico, da capacidade de aprender novas habilidades ou qualificações e a iniciativa em resolver problemas. Para muitas indústrias o paradigma da manufatura flexível fez com que o conhecimento por parte do operário do processo como um todo ganhasse importância. Desta forma a capacidade de aprendizado e a experiência na empresa passaram a ganhar importância.

Conforme citamos anteriormente o uso de novas tecnologias gera e elimina empregos, geralmente com requisitos de habilidades diferentes. No caso da automação da manufatura, devido à pressão dos trabalhadores, acordos com os sindicatos e os custos relacionados a demissão e recontração, buscou-se dar treinamento aos trabalhadores que tiveram suas habilidades tornadas obsoletas para que estes pudessem assumir os novos cargos. Como foi o caso dos operadores de tornos manuais que receberam treinamento em máquinas CNC.

Entretanto TCHIJOV (1989, pág. 266) ressalta no caso dos operários industriais com idade avançada três dificuldades principais no retreinamento.

A primeira dificuldade é a falta de conhecimentos básicos relacionados ao uso de computadores. As novas gerações de estudantes já possuem uma experiência bem maior nessa área e com isto adaptam-se mais facilmente e rapidamente a novas tecnologias computadorizadas. A difusão da aplicação dos computadores gera vantagens competitivas a seus competidores e sucessores mais novos.

A segunda dificuldade está relacionada ao medo de perderem sua reputação profissional e uma desvalorização de sua experiência profissional, a qual adquiriram durante toda a sua vida.

Finalmente em terceiro lugar, segundo TCHIJOV, a capacidade de aprendizado e a propensão a aprender diminui depois de uma certa idade em gerações mais velhas. Durante os treinamentos eles percebem que as habilidades adquiridas durante muitos anos de trabalho estão ficando obsoletas e algumas vezes inúteis à futura carreira.

Dentre o tipo de profissional, da área mecânica ou eletro-eletrônica, TCHIJOV mostra que os da área mecânica tiveram bem mais dificuldade em serem realocados devido a natureza das novas tecnologias. Enquanto o treinamento era mais fácil devido ao conhecimento prévio dos técnicos em eletro-eletrônica, no caso dos mecânicos estes tinham de ser ensinados a partir do zero.

### **3.6 Robotização**

Apesar do robô industrial ter sido inventado nos EUA, este não teve grande aceitação em sua terra natal. Foi o Japão, através da importação de robôs UNIMATE que de fato iniciou o uso de robôs em grande escala na indústria. Nos anos 70 o Japão ainda desfrutava de bons índices de crescimento econômico e isso somado a uma falta de mão-de-obra jovem, principalmente nas indústrias pequenas gerou uma pressão nos custos salariais. As indústrias tentaram escapar desta pressão nos custos salariais através do uso de robôs. Isto fez com que em 1984 o nível de robotização em empresas com menos de 30 funcionários fosse aproximadamente o dobro do nível das demais indústrias (ISHITANI and KAYA, 1989, pág. 97).

Nos países desenvolvidos o uso dos robôs pode ser dividido em três fases (TORII, 1989, pág. 182; TCHIJOV, 1989, pág. 266). Na primeira, uma significativa robotização ocorreu na indústria básica de metal e na indústria de processamento de partes, o que contribuiu a melhora na qualidade dos produtos, as tarefas robotizadas foram principalmente referentes a alimentação de máquinas e transporte de partes pesadas. Devido a natureza do trabalho, que acabou livrando os trabalhadores realocados dessas tarefas pesadas. A resistência social nessa fase da robotização foi pequena.

A segunda fase iniciou nos anos 70 com a robotização das montadoras de automóveis, onde predominantemente tarefas como solda, pintura e fundição foram robotizadas.

Na terceira fase foi a robotização da indústria eletrônica, onde robôs foram usados para montagem de componentes eletrônicos que exigiam grande precisão. Apesar da robotização nesta etapa liberar os funcionários de uma tarefa que impunha um grande nível de stress, nos EUA algumas firmas sofreram grande resistência social nesta etapa, principalmente pela “elite” dos montadores, que desfrutavam de salários mais altos devido a habilidade que possuíam.

Em MORI (1989, pág. 152) são mostrados dados comparativos entre o preço médio de um robô no Japão e o custo da mão-de-obra do ano de 1970 a 1985. Neste período o custo médio de um robô em 1985 caiu para um terço de seu valor em 1970. Enquanto isso, o custo da mão-de-obra aumentou em cinco vezes e o número de trabalhadores disponíveis no mercado permaneceu praticamente constante, variando em apenas 1% nestes 15 anos. Se adicionarmos os dois fatores, a queda no custo de um robô e o aumento do custo da mão-de-obra, significa que o uso de robôs ficou 15 vezes mais atraente para o empresário japonês no período estudado.

Por outro lado, MORI (1989, pág. 155) destaca um dado pouco conhecido, o custo da manutenção de um robô. Ele indica o custo médio de manutenção de um robô como 4,5% ao ano sobre o valor do investimento no robô. Este dado referente a manutenção, por ser relativamente novo foi negligenciado pelos investidores em relação aos primeiros robôs, e tem se mostrado um dos principais entraves relativos a robotização. Outro dado igualmente negligenciado que é indicado por MORI é o custo que um robô agrega em energia elétrica. Segundo dados da Unimation, um robô de aproximadamente US\$ 50.000,00 consome cerca de US\$ 0,80/hora. Assumindo 6.000 horas de trabalho anuais temos um custo de

aproximadamente 4% ao ano sobre o investimento inicial. Somados aos custos acima mencionados ainda temos o custo de depreciação do robô. Sendo a vida útil do mesmo de 7 a 10 anos, a taxa de depreciação fica em torno de 10% ao ano. Cabe ressaltar aqui que segundo KARLSON (2003) a vida útil do robô fica entre 10 e 15 anos.

Quanto ao cálculo da viabilidade de um robô, no Japão a JIRA (Japan Industrial Robot Association) informa que o valor máximo que uma empresa pode pagar por um robô é o dobro do custo anual por funcionário (KINOSHITA and YAMADA, 1989, pág. 217).

As causas da robotização são semelhantes às da automatização, citadas anteriormente, entretanto os robôs foram uma solução mais apropriada em muitos casos sob o modelo de manufatura flexível. Uma das vantagens do robô é o fato de, comparativamente com uma máquina dedicada, o robô ter uma maior flexibilidade, podendo ser usado em diferentes partes da linha de produção, com diferentes aplicações, bastando trocar o efetuator final e o software. Entretanto o investimento inicial em robôs é maior que o de uma máquina dedicada e sua produtividade geralmente é menor. Esta troca, de custo e produtividade por flexibilidade tornou-se cada vez mais atrativa a medida que máquinas dedicadas eram tornadas obsoletas por ciclos de vida cada vez menores dos produtos, logo as empresas começaram a investir mais em um robôs que, devido a sua flexibilidade, pudesse ser aproveitado também em outras tarefas (ISHITANI and KAYA, 1989, pág. 121-122).

O benefício causado pelo uso de robôs varia conforme o setor industrial. Em seu estudo MORI (1989, pág. 158) analisa dois parâmetros da utilização de robôs nas indústrias japonesas. O primeiro é o número de funcionários substituídos por um robô e o segundo é o retorno sobre o investimento que a indústria tem por utilizar um robô.

	Trabalhadores equivalentes a um robô	Taxa de retorno
Setor Industrial		
Manufatura Total	1,20	12,40
Alimentos e Tabaco	1,95	4,73
Indústria Têxtil	2,64	13,20
Indústria de Madeira	3,12	6,13
Papel e Celulose	1,21	2,89
Indústria Química	0,33	12,35
Borracha	1,28	5,55

Cimento e Argila	1,26	7,53
Ferro e Aço	2,26	24,60
Metais não-ferrosos	1,87	11,60
Metais fabricados	1,49	10,75
Máquinas pesadas	0,89	9,92
Máquinas Elétricas	1,79	7,20
Máquinas de Transporte	1,29	13,30
Máquinas de Precisão	0,76	10,85
Outras Manufaturas	1,37	10,61

**Tabela 5: Número de funcionários substituídos e retorno do investimento**

Podemos observar na Tabela 5 que o efeito dos robôs nas indústrias ligadas a metais primários é relativamente alto comparado com as demais. As razões para isto, segundo MORI são o baixo custo dos robôs para estas indústrias, o uso do robô para a substituição dos trabalhadores nas operações de fundição onde o custo dos trabalhadores é alto e estes geralmente trabalham em dois ou três turnos, o que resulta em um melhor aproveitamento do robô.

No caso da indústria química japonesa, vemos um baixo número de trabalhadores sendo substituídos por robôs, somente 0,33, o que está abaixo da média. Entretanto o retorno do investimento é acima da média dos outros setores. Isso ocorre pois os robôs industriais são utilizados principalmente como extratores de produtos na linha de produção, tais robôs têm um custo cerca de 45% menor que a média. Ou seja, apesar de substituírem menos trabalhadores eles são mais baratos.

O contrário ocorre no setor elétrico, aqui enquanto o número de trabalhadores substituídos é relativamente maior, o retorno do investimento é um pouco abaixo da média. Isto deve-se ao fato de que robôs mais complexos e mais caros são usados neste setor, um contraste comparado com o setor químico e de metal.

Em TORII (1989, pág. 187) é analisado o número de trabalhadores substituídos por robôs na indústria automobilística e eletrônica na Coreia do Sul. Nas empresas entrevistadas o número de trabalhadores substituídos por um robô é de dois. Entretanto TORII ressalta que enquanto na indústria automobilística os processos foram totalmente robotizados e nenhum trabalhador foi mantido na operação, na indústria eletrônica em média metade ou um terço dos trabalhadores foi mantido no processo após a introdução do robô.

TANI (1989) expõe o principal uso dos robôs em função dos países. É concluído que na Europa e EUA os robôs foram usados principalmente na indústria automobilística, enquanto no Japão estes foram usados principalmente na montagem de componentes eletrônicos. TANI conclui que esta diferença foi um fator chave para o avanço do Japão na robótica, pois proporcionou que os mesmos passassem a produzir componentes eletrônicos mais baratos e adquirissem uma vantagem comparativa em relação aos EUA e a Europa.

No Japão, uma análise (SAITO e NAKAMURA, 1989) dos efeitos diretos e indiretos do uso de robôs na economia japonesa indica, que no período de 1985-1990 com a introdução de 155 mil robôs no Japão, 71 mil empregos foram eliminados, como efeito direto. Por outro lado, como efeito indireto, 48 mil empregos foram gerados ligados a indústria de robôs e ao aumento de investimentos ligados a maior lucratividade das empresas que utilizaram robôs. Isso significa, para cada 2 robôs instalados uma pessoa é demitida diretamente, para cada 3 robôs temos uma contratada, e para cada 7 robôs temos um emprego eliminado, levando em conta os empregos gerados.

Na Alemanha, o impacto da robótica atingiu principalmente os soldadores com uma eliminação estimada de 60.000 empregos nesta categoria entre os anos de 1995 e 2000. Outros empregos principalmente atingidos pela robótica são o de empacotadores, com uma estimativa de 40.000 empregos eliminados e funcionários de linhas de montagem, com 20.000 empregos eliminados (EDLER and RIBAKOVA, 1994, pág. 269-270). Cabe ressaltar aqui que estes números são estimativas feitas em 1994 a respeito de possíveis demissões para os anos entre 1995 e 2000. Nos efeitos positivos na Alemanha estão empregos gerados na indústria de robôs e na manutenção ligada a robótica, com aumento do número de vagas para engenheiros mecânicos e elétricos com uma qualificação um pouco acima da média.

## **3.7 A Indústria Brasileira**

### **3.7.1 Formação da Indústria**

Para discutirmos como a robótica afeta o Brasil é necessária uma breve revisão do processo de industrialização, através de um resumo do artigo de CASSIOLATO (2004).

Entre a metade dos anos 50 até o final dos anos 70, o processo de industrialização brasileiro foi feito através da substituição de importações liderada pelo Estado com forte participação de capital e tecnologia estrangeira. O estímulo do Estado à industrialização foi



além do controle do mercado de trabalho, da política fiscal e monetária. Neste período a intervenção estatal foi usada para definir, articular e financiar grandes blocos de investimento e a criação de uma infra-estrutura e produção direta dos insumos necessários a industrialização pesada. O investimento público teve o papel de incentivo ao investimento privado, particularmente ao investimento estrangeiro. O Estado, através das estatais fornecia e garantia um mercado interno (protegido) com insumos básicos e economias externas a baixo custo, enquanto as multinacionais utilizavam este ambiente favorável para se expandir no mercado interno e externo.

Como resultado, nas três décadas após a 2ª Guerra Mundial o Brasil viveu o período do “Milagre Econômico” onde teve taxas de crescimento impressionantes, mesmo se comparadas aos países desenvolvidos. Porém na década de 70 o governo, para contornar as condições adversas do cenário internacional, com a crise do petróleo, lançou mão de todos os artifícios na busca de capital, utilizando os meios domésticos de financiamento (fundos de poupança compulsória) e intenso endividamento externo, resultando em um forte déficit em conta corrente com o exterior.

Nos anos 80 fica latente uma das características do processo de industrialização brasileiro, sua recorrência à tecnologias importadas, aliada a dificuldade da economia brasileira de gerar internamente um núcleo de desenvolvimento tecnológico, pois a grande maioria das indústrias brasileiras não estabeleceu uma capacitação tecnológica e inovativa que permitisse desenvolver novos produtos. O único desenvolvimento tecnológico no período da substituição das importações foi o necessário estritamente a produção.

Durante a crise dos anos 80 o governo adota uma política econômica de curto prazo. Sob o constrangimento financeiro externo a economia interna desorganizou-se devido ao colapso das finanças públicas e das empresas estatais, empurrando a economia para um regime de super-inflação sem precedentes. O governo utilizou altas taxas de juros para atrair investidores a esse cenário de incertezas. As altas taxas tornaram a tomada de crédito pelas empresas nacionais uma operação praticamente suicida.

Na década de 90 houve a liberação das importações, seguida do plano Real. Muda a política do governo que usava as estatais para apoiar o setor privado e estas começam a ser privatizadas. Em meio a este ambiente adverso algumas empresas nacionais sobreviveram por

terem conseguido um aumento de produtividade e qualidade, entretanto vários setores foram rapidamente destruídos e substituídos por importações crescentes.

A crise foi intensa para as empresas de capital privado nacional, que foram penalizadas pelo elevado custo do capital quando comparado as empresas de capital estrangeiro.

Durante o início do plano Real, com a taxa de cambio artificialmente valorizada, as indústrias nacionais passaram a substituir crescentemente os insumos, componentes e partes nacionais por importados, foi uma espécie de reserva de mercado as avessas. Isso levou em muitos casos a eliminação de produção doméstica e a regressão significativa de parte da indústria local.

Como resultado, a balança comercial não evoluiu muito, se comparada aos tempos do Brasil colônia. O país continua importando predominantemente bens com tecnologia agregada e exportando produtos com baixo valor agregado (*commodities*) e outros produtos de baixa lucratividade.

### **3.7.2 Automação no Brasil – Reserva de Mercado**

O desenvolvimento segmento de indústrias ligadas a automação deu-se sob a reserva de mercado de informática que vigorou dos anos 80 ao ano de 1992. Com a abertura da economia brasileira a partir de 1990 as empresas de automação passaram a enfrentar a concorrência internacional, o que acirrou-se com o fim da reserva de mercado em outubro de 1992.

Durante os anos de 1984 a 1989, sob o incentivo da reserva de mercado o setor de automação industrial cresceu a uma taxa anual média de 44,6% ao ano (BASTOS, 1998, pág. 131).

Entretanto o desenvolvimento da automação deu-se principalmente no segmento de automação de processos. Os principais produtos comercializados nesta área eram controladores programáveis, sistemas digitais de controle distribuído, sistemas de controle e supervisão e controladores digitais de processo. O segmento de automação da manufatura, representado pela venda de CNCs e sistemas de robótica tiveram uma participação de mercado bem menor. Em 1989 a venda de produtos ligados a automação de processos era 11 vezes superior de produtos ligados a automação da manufatura, conforme vemos na Tabela 6:

Produtos	1984	1985	1986	1987	1988	1989
CP - Controlador Programável	4,457	9,560	32,949	34,796	54,581	75,848
SDCD - Sistemas digitais de controle distribuído	2,103	11,173	15,994	28,413	56,556	95,533
SCS - Sistemas de controle e supervisão	39,205	18,763	3,475	8,531	20,738	59,216
CPD - Controlador digital de processo	0,018	3,324	10,237	13,054	5,506	8,522
CNC - Comando numérico Computadorizado	4,402	9,974	22,156	34,716	25,061	20,815
Sistema de robótica	0,000	0,150	...	1,197	0,304	0,209

**Tabela 6: Comercialização dos principais produtos de automação industrial no Brasil (US\$ milhões)**

Sobre o segmento de automação da manufatura, esse era baseado em CNCs, sendo que o faturamento ligado a sistemas de robótica era desprezível.

Quanto aos empregos gerados no setor de automação no Brasil entre 1984 e 1989 (BASTOS, 1998, pág. 134):

	1984	1985	1986	1987	1988	1989
A - Emprego Total	3521	4771	5023	5942	5871	5697
B - Empregados com Escolaridade Superior	613	1322	1548	1803	1729	1631
B/A	17,4%	27,7%	30,8%	30,3%	29,4%	28,6%

**Tabela 7: Empregos gerados no setor de automação no Brasil entre 1984 e 1989**

Conforme a Tabela 7 o volume de emprego gerado em termos absolutos não é expressivo. O que se destaca é a composição do emprego gerado, atingindo praticamente um percentual de 30% de pessoas com nível de escolaridade superior, o que indica um perfil da força de trabalho diferenciado em relação ao encontrado na indústria como um todo. Isso indica, conforme citamos anteriormente empregos criados e fortemente ligados à educação, trabalho qualificado e conhecimento.

### 3.7.3 Automação no Brasil – Abertura Econômica

O início dos anos 90 caracterizou-se por uma mudança abrupta de orientação na política econômica. O novo governo diagnosticou a substituição das importações como um modelo esgotado e que levaria o parque industrial produtivo a não tornar-se competitivo no âmbito internacional.

O primeiro aspecto destacado no período de abertura econômica foi a compra, por empresas estrangeiras das principais indústrias de automação do Brasil. O segundo foi a retração do setor, fortemente em 1990 e 1991, seguida de uma leve recuperação nos anos seguintes. O terceiro aspecto a ser destacado no período é a forte tendência as indústrias de automação a pararem de produzir os equipamentos e passarem a importá-los e revendê-los no Brasil (BASTOS, 1998, pág. 142).

Quanto ao emprego ligado ao setor de automação, temos a Tabela 8 (BASTOS, 1998, pág. 147):

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
A - Emprego Total	5763	4833	4859	6441	6480	6295
B - Empregados com Escolaridade Superior	1745	1555	1804	1585	1617	1488
B/A	30,3%	32,2%	37,1%	24,6%	25,0%	23,6%

**Tabela 8: Emprego ligado ao setor de automação**

Aqui notamos uma variação significativa no número de empregos totais, entretanto pouco muda nos empregos de nível superior. Em 1992 chega-se a 37% de mão-de-obra com nível superior, entretanto podemos encarar isto como uma diminuição nos postos de trabalho no chão-de-fábrica. Assim como nos dados do período anterior os números absolutos de emprego são pouco relevantes.

Em um estudo sobre a competitividade dos produtos de automação brasileiros em 1993 temos os seguintes resultados (BASTOS, 1998, pág. 154):

Produtos	Atualização Tecnológica	Qualidade	Preço no Mercado Interno	Competitividade Internacional
CP - Controlador Programável	R	C	C	NC
SDCD - Sistemas digitais de controle distribuído	NC	C	NC	NC
SCS - Sistemas de controle e supervisão	C	C	C	NC
CNC - Comando numérico Computadorizado	R	R	R	NC
Sistema de robótica	NC	NC	NC	NC

**Tabela 9: Competitividade do segmento de automação industrial brasileiro**

C = Competitivo

R = Quase competitivo

NC = Não competitivo

Cabe ressaltar na Tabela 9 o fato do robô ser o pior item na classificação deste estudo.

O depoimento de um empresário (TAUILE, 1986, pág. 76) sintetiza bem a mudança da reserva de mercado para o período de abertura econômica: “Antigamente não importava o custo, mas sim conseguir produzir. Hoje a primeira coisa é saber quanto custa o produto no mercado internacional, e o desafio (uma espécie de barreira de entrada) é fazê-lo custar menos, entregar a tempo e dentro das especificações exigidas”.

### **3.7.4 Automação na Indústria Automobilística**

Anteriormente vimos como foi a automação do ponto de vista dos fabricantes no Brasil, aqui faremos uma descrição de como foi o uso de automação na indústria automobilística brasileira.

#### **Por que as causas aqui foram diferentes**

Como vimos anteriormente o custo da mão-de-obra e a reação social causada pelo medo do desemprego foram as principais causas da automação nos países desenvolvidos. No caso brasileiro ocorre o contrário.

Apesar dos metalúrgicos receberem salários altos em relação ao resto da população nacional e terem um baixo nível de escolaridade, os salários pagos no Brasil têm um custo muito pequeno em relação ao custo da mão-de-obra nos países desenvolvidos.

Nos anos 80, o custo com mão-de-obra direta representava menos que 5% do custo total do veículo para as montadoras brasileiras. O salário pago no Brasil ficava em torno de 20% de um salário pago nos países desenvolvidos (TAUILE, 1986, pág. 73). Tauile argumenta em seu trabalho que o tempo de pagamento (*pay-off time*) de um robô nos anos 80 era de 32 anos, algo bem inferior a vida útil do mesmo, que era de cerca de 10 anos.

No que se refere a acordos trabalhistas, não existe aqui a rigidez encontrada nos EUA e na Europa em relação a força de trabalho (MARQUES, 1990, pág. 66). É comum aqui os trabalhadores serem deslocados de função quando há nisso interesse da empresa.

Sobre o papel dos sindicatos, cabe ainda ressaltar que durante o período da ditadura estes tiveram pouco poder de pressão sobre as empresas, contribuindo para que o controle da empresa sobre o trabalhador fosse muito mais forte no Brasil que em países que viviam uma democracia.

### **Quais foram as causas aqui**

O que de fato levou as montadoras a se automatizarem foi a estratégia mundial adotada pelas matrizes. Nos anos 80 as montadoras lançaram o conceito de “carro mundial”, um automóvel que seria produzido em partes ou em uma única planta, mas teria como destino a comercialização internacional. Além do carro mundial, ocorreria a especialização de algumas filiais na produção de alguns componentes.

Com isso surgiu nas plantas brasileiras a necessidade de produzir conforme padrões de qualidade mais rígidos, os internacionais. Agora duas ou mais filiais deveriam ser capazes de produzir o mesmo tipo de veículo, a mesma peça, dentro das mesmas tolerâncias. A produção não poderia continuar com oscilações na qualidade do que era produzido, era necessária uma padronização, uma uniformidade. Tal padronização, segundo a decisão da matriz, seria obtida com o uso de máquinas, com a automatização.

Os padrões de qualidade do mercado internacional orientaram a automação das montadoras no Brasil, as principais áreas automatizadas foram a funilaria, pintura e fundição. Cabe destacar, que no caso da pintura, a automação desta é muito justificada nos países desenvolvidos por ser uma atividade insalubre. Entretanto no Brasil somente a pintura externa

foi automatizada, pois era esta que deveria atender aos requisitos de qualidade, a pintura interna e inferior do automóvel foi mantida na forma manual. Ou seja, a eliminação de postos de trabalho insalubres no Brasil não foi uma das razões para a automatização dos processos (MARQUES, 1990, pág. 74).

### **3.7.5 Viabilidade da Automação**

Apesar de, nos anos 80, a automação de montadoras ter sido causada por outros fatores, com o barateamento de equipamentos ligados a automação, cada vez mais empresas brasileiras de médio porte buscam eliminar postos de trabalho no chão-de-fábrica através da automação. Em entrevista feita em empresa de Joinville, o diretor comentou que mais problemático que o custo do salário, é a possibilidade de um processo trabalhista.

Como citamos anteriormente, na década de 80 o tempo de pagamento de um robô era absurdo. O que constatamos em Joinville foi uma tendência de queda do preço de equipamentos de automação. Por exemplo, um robô de 3 graus de liberdade recém adquirido pela Empresa 2 havia custado cerca de R\$ 30.000,00. O robô era italiano, mas produzido no Brasil com tecnologia desenvolvida no exterior.

Nesta mesma empresa o salário de um empregado sem qualificação era de R\$ 480,00 e evoluía até R\$ 700,00. Para a empresa o custo deste empregado era pouco mais que o dobro. Tomando o salário médio de R\$ 600,00, o que gerava um custo de cerca de R\$ 1.300,00 temos um custo anual de 15.600,00 por trabalhador.

Fica fácil perceber que o investimento paga-se em pouco tempo. Podemos imaginar razoavelmente que um robô substitua de dois a três empregados por turno. Caso a empresa trabalhe em 3 turnos, seriam de 6 a 9 empregados substituídos, ou seja, um custo de R\$ 93.600,00 a 140.400,00 por ano.

Como vemos, seguindo o exemplo dos demais países, a economia em termos de custos com empregados é a principal motivadora da automação.

Outro fator que impulsiona hoje a automação de médias empresas é a possibilidade de ter uma folha de pagamento enxuta. Para o empresário, quanto mais dependente das máquinas e menos das pessoas a produção estiver melhor. Em períodos de poucos pedidos e pouca produção é importante para o empresário ter poucos gastos. Por outro lado ele deve possuir

uma estrutura que lhe permita produzir uma grande quantidade rapidamente. Isto não é possível se esta produção é feita por pessoal que terá de ser contratado e treinado.

O que cabe destacar, é que conforme o preço de alguns equipamentos ligados a automação vão caindo, vamos no Brasil, com alguns anos de atraso, passando pelos mesmos processos e mudanças na produção que passaram os países desenvolvidos. Um exemplo são as máquinas CNCs que foram encontrando seu espaço na indústria brasileira, o mesmo ocorrerá com robôs e outras tecnologias conforme estas forem ficando economicamente viáveis no Brasil.

### **3.7.6 Impacto Social e Econômico da Automação no Brasil**

Anteriormente vimos os impactos da automação em países desenvolvidos. Entretanto cabe aqui ressaltar uma questão. Os impactos da difusão de novas tecnologias em um país depende também da origem do equipamento usado para a automatização.

Vejamos o caso mais comum, de uma empresa brasileira que compra uma solução importada, digamos um robô, de uma empresa estrangeira.

No caso da empresa brasileira, temos inicialmente demissões, a curto ou a médio prazo, dos trabalhadores que desempenhavam a tarefa que foi automatizada. Geralmente este tipo de mão-de-obra que será dispensado pelo robô é uma mão-de-obra com baixa qualificação, onde a mão-de-obra no Brasil é abundante. É esperado um crescimento desta empresa caso ela adquira uma vantagem competitiva frente a seus concorrentes, o que gerara contratações em outras áreas da empresa, geralmente de mão-de-obra com maior qualificação. O balanço que temos neste caso é um tanto negativo, pois postos de trabalho estão sendo eliminados justamente onde o Brasil possui abundância de mão-de-obra e estão sendo criados menos postos, a longo prazo onde o Brasil tem uma maior carência de mão-de-obra.

Sob o outro ponto de vista, o da empresa estrangeira que fornece o robô, estamos criando empregos, pois comprando seu produto há uma demanda por mais produção, manutenção e instalação, entretanto a maioria desses são empregos no exterior. Temos aqui uma transferência de empregos, entretanto esta transferência ocorre do país que compra o robô para o país que fabrica o mesmo. Cabe lembrar que a maioria dos robôs industriais utilizados no Brasil são robôs importados da FANUC, ABB ou KUKA, estes são fabricados no Japão, Suécia e Alemanha, respectivamente. Isto significa que toda vez que uma empresa brasileira é



automatizada estamos patrocinando o desenvolvimento da indústria robótica destes países. Destruímos empregos no Brasil, e os empregos gerados foram em outros países.

O tipo de emprego gerado pela empresa que produz robôs é de maior qualificação e remuneração que o emprego eliminado no Brasil.

Sob o ponto de vista da empresa brasileira, a opção de não comprar um robô, se este é economicamente viável, é possivelmente um suicídio empresarial, pois colocaria essa empresa em posição de desvantagem, frente a suas concorrentes.

Outra variante comum desta transferência de empregos, no caso da robótica, é a empresa estrangeira ter escritórios de venda e manutenção no Brasil, ou ainda uma montagem completa ou parcial do robô no Brasil. Neste caso os impactos são menores no que diz respeito a empregos, entretanto não há investimentos de P&D, e a mão-de-obra formada por estes empregos resume-se a pessoal para a manutenção.

### **3.8 Desafios para a Geração de Tecnologia no Brasil**

O caso ideal seria o Brasil produzir a tecnologia de automação e realizar a automatização de suas empresas usando produtos nacionais. Entretanto o país possui um conjunto de fatores que inibem isso. De uma forma resumida podemos dividir em três os principais problemas enfrentados pelo Brasil (KATZ, 2004, pág.11) na geração de tecnologia: perfil da base produtiva, mão-de-obra e distribuição de renda.

Sobre a base produtiva, o Brasil sofre de carência de recursos tecnológicos e financeiros. Como vimos anteriormente a tomada de empréstimos por empresas foi ficando cada vez mais difícil, de forma que o crescimento e abertura de empresas foi sendo dificultado.

Sob o ponto de vista de recursos tecnológicos, o Brasil sofre com a carência de fornecedores nacionais e mercado interno relativamente pequeno, o que coloca o país em desvantagem em relação a competidores estrangeiros. Sob este aspecto o depoimento de um empresário do ramo de automação brasileiro (BASTOS, 1998, pág. 167-168) é ilustrativo:

“Dentro de uma ótica de comparar a nossa competitividade com a dos fabricantes internacionais, nós temos um ecossistema produtivo mais fraco, nós temos menos opções de escolhas em termos de insumos tanto em mecânica quanto de injetados, de elétrica, o que faz com que nossos preços sejam mais altos. Tudo funciona muito como um ecossistema. Se você

tem uma grande quantidade de opções e uma diversidade de iniciativas e de empresas, elas vão gerando um ecossistema capaz de suprir com similares grande parte dos projetos, e isso faz com que se tenham opções e os custos caiam. Nós temos muito menos opções aqui”.

Outro depoimento segue a mesma linha (BASTOS, 1998, pág. 168):

“(...) fiz uma pesquisa sobre um determinado tipo de sensor que nós precisávamos – não tem nenhum fabricante aqui no Brasil. Nos Estados Unidos eu encontrei 300 fabricantes. Não falo em aplicação, eu falo em montagem de sensores, em fabricação de sensores. Eu poderia citar um grande número de situações deste tipo, e nós veríamos que quase não há fabricantes aqui, e você encontra uma profusão de fabricantes muito grande em um país como os Estados Unidos, e alguns fabricantes nos países europeus”.

As empresas brasileiras também carecem de conhecimentos em gerência científica, no sentido taylorista, especialmente em pequenas e médias empresas.

Com isso notamos uma dificuldade da base produtiva brasileira competir com a dinâmica de empresas de países mais avançados industrialmente.

No que tange à qualificação da mão-de-obra, inicialmente o Brasil possui um alto índice de analfabetismo, 10,9% se comparado com países desenvolvidos. Em seguida percebe-se uma falta de técnicos no Brasil. Enquanto nos países desenvolvidos este número é de 2 a 5 técnicos por engenheiro, no Brasil temos o inverso, 3 engenheiros para cada técnico (KATZ, 2004, pág. 12).

O Brasil, segundo CASSIOLATO (2004, pág. 14) está em 37º lugar no “ranking” mundial de trabalho qualificado. Nossa força de trabalho possui em média somente 5 anos de instrução, enquanto os Tigres Asiáticos possuem 10 anos, o Japão 11 anos e Estados Unidos e Europa 12 anos. Esta nossa baixa qualificação da mão-de-obra torna-se um grave problema no que tange a automação. É muito mais difícil realocar um funcionário brasileiro, devido ao seu baixo nível de instrução. Se levarmos em conta também o perfil das profissões criadas e extintas vemos uma grande dificuldade para a mão-de-obra desqualificada ser realocada.

No que diz respeito à mão-de-obra com ensino superior, os engenheiros temos o seguinte quadro. Inicialmente um percentual relativamente alto é aproveitado no setor financeiro, administrativo e funcionalismo público. Muitos são contratados na área de manutenção acabam por tornar-se usuários de tecnologia importada. Alguns ocupam função de técnicos.

Quanto à pós-graduação, o normal seria estes terem uma experiência em empresas e depois aprofundar alguma área com um mestrado. Entretanto o mais corriqueiro é o engenheiro recém formado ingressar no mestrado, sem experiência prática. Isso geralmente ocorre por falta de opção no mercado de trabalho. Alguns acabam realizando o doutorado em seguida. O resultado é um grande número de doutores e mestres que se aprofundaram em assuntos estranhos a indústria, que tem pouco valor fora do mundo acadêmico. A falta de experiência prática acaba por dificultar o ingresso destes doutores e mestres no mercado de trabalho, fazendo com que muitos busquem optar por lecionar em cursos de engenharia, onde não é raro professores com pouca ou nenhuma experiência prática na indústria.

Quanto à pós-graduação no Brasil ainda cabe ressaltar as características da mesma (PAULA, 1999, pág. 15). O parque de pesquisas brasileiro apesar de ser grande e relativamente completo, realiza pesquisa basicamente na área acadêmica, sendo pequena a participação de instituições de pesquisa não-ligadas às universidades, por essa razão há um predomínio da pesquisa científica em detrimento a pesquisa tecnológica, o que também se reflete no predomínio da pesquisa básica em relação a pesquisa aplicada.

Essa falta de experiência prática dos engenheiros é reflexo de um parque industrial que pouco desenvolve tecnologia mas que geralmente a compra no exterior. Como muitas das empresas do parque nacional são estrangeiras, e compram tecnologia estrangeira, sobram poucas empresas que de fato desenvolvem tecnologia no Brasil, com isso temos poucas vagas para engenheiros em pesquisa & desenvolvimento no Brasil. O resultado disto é uma escassez de engenheiros realmente fazendo engenharia.

O problema da mão-de-obra brasileira pode ser sintetizado como um excesso de mão-de-obra sem qualificação e uma carência de mão-de-obra qualificada, onde inclusive grande parte dos engenheiros enquadra-se como mão-de-obra sem a qualificação desejada pela indústria. No ano de 2000 por exemplo, a Confederação Nacional das Indústrias informou que no primeiro semestre daquele ano “66% das empresas pequenas e 53% das empresas grandes estavam enfrentando dificuldades para contratar trabalhadores qualificados” (CASSIOLATO, 2004, pág. 15).

Quanto ao terceiro ponto, a distribuição de renda, vemos o Brasil como um dos países com a maior concentração de renda do mundo. Tal perfil gera grandes problemas relativos a

um mercado de consumo interno que tem pouca expressividade tratando-se de produtos de alta tecnologia.

### **3.9 Conclusão**

O Brasil, com a difusão de tecnologias ligadas a automação, acaba tendo seus impactos negativos amplificados como vimos. Pois devido a uma carência de fabricação nacional de equipamentos ligados a automação, vemos o país demitindo brasileiros e com a compra de equipamento importado patrocinar contratações em outros países. Sob o prisma da compensação das demissões geradas pelo uso da automação através da transferência de empregos, vemos o Brasil exportando empregos ao exterior.

O caso específico da robótica resulta mais contundente, pois como vimos através do estudo BASTOS, mesmo durante a reserva de mercado, a indústria nacional ligada a robótica era inexpressiva.

Outro diferencial em relação ao Brasil é a baixa escolaridade da força de trabalho, o que resulta em uma maior dificuldade de realocação frente a utilização de novas tecnologias.

## **4 Roboturb**

### **4.1 Introdução**

O objetivo desse capítulo é a descrição do projeto Roboturb.

O capítulo inicia descrevendo o problema ao qual o robô se destina, a recuperação de rotores de turbinas hidrelétricas. Em seguida é descrita a forma como a recuperação destas turbinas é feita hoje no Brasil de forma manual.

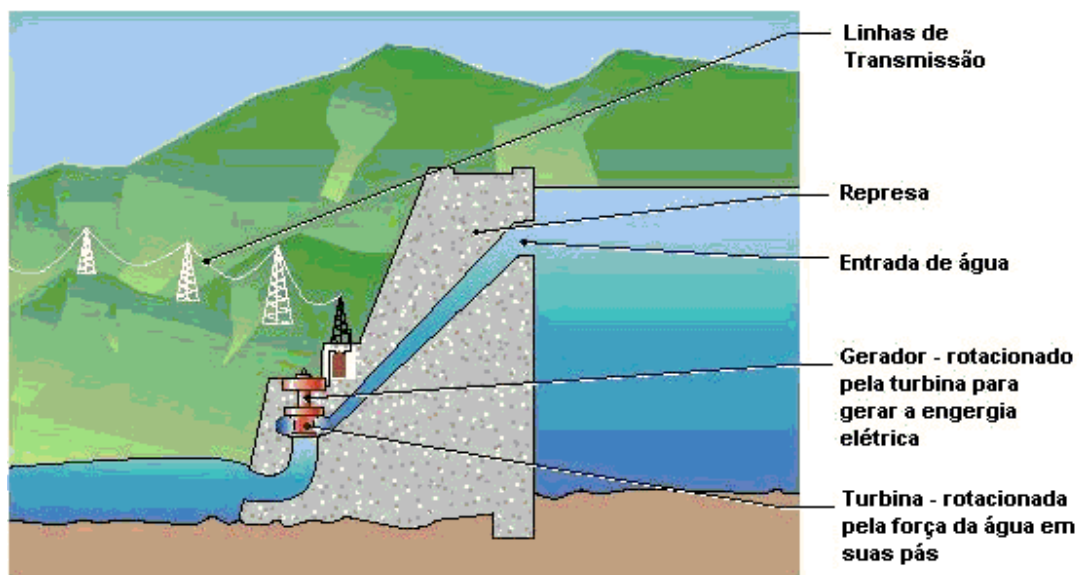
Em outra parte será descrito o robô, inicialmente as partes que o compõe e em seguida a forma como o mesmo opera para realizar a aplicação a qual se destina.

Feito essa contextualização do que é o problema, como ele é resolvido manualmente e como é resolvido com o robô podemos analisar os diferentes impactos causados pelo desenvolvimento tecnológico referente ao projeto, desenvolvimento e aplicação do robô no contexto brasileiro, o que é feito no capítulo seguinte.

### **4.2 Descrição da Tarefa**

A tarefa a ser realizada, diz respeito a uma atividade específica de manutenção das unidades geradoras de energia em usinas hidrelétricas. Essa atividade consiste na recuperação das pás dos rotores. Para explicarmos do que se trata esta manutenção, é necessária uma breve explicação sobre como ocorre a geração de energia em usinas hidrelétricas.

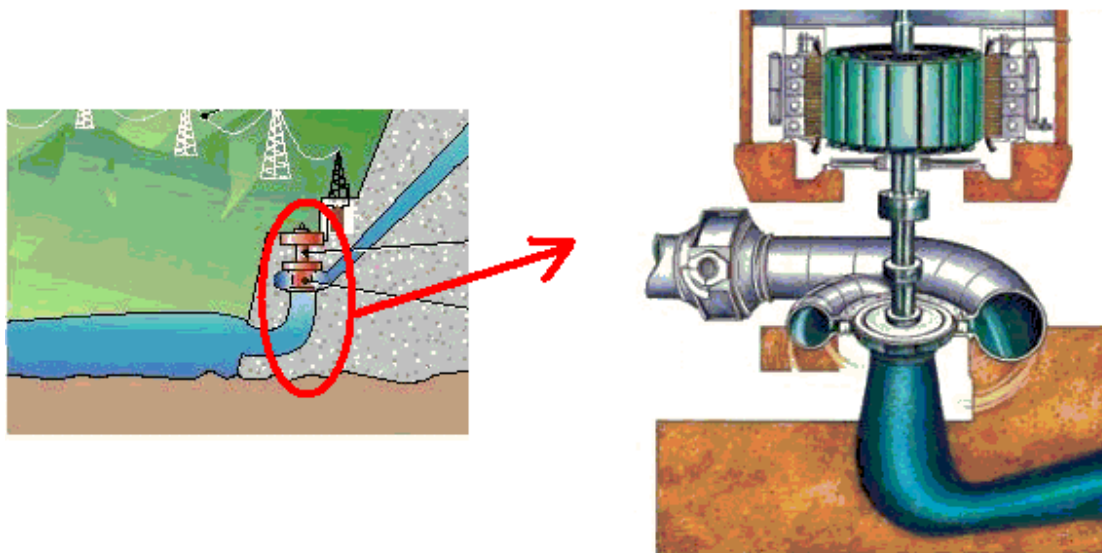
Na Figura 9 abaixo temos a representação de uma usina geradora.



**Figura 9: Representação de uma usina geradora**

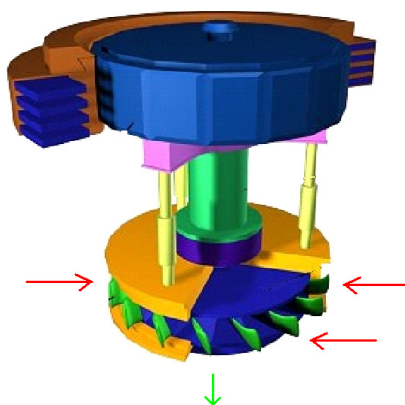
A água faz a turbina girar, que está ligada ao gerador, fazendo este girar e gerando assim a energia elétrica que será depois transmitida.

Na Figura 10 abaixo buscamos demonstrar em detalhe a turbina.

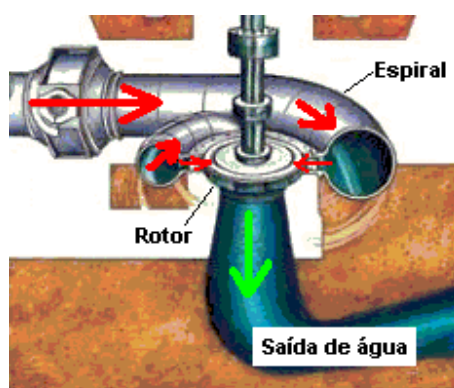


**Figura 10: Detalhe da turbina**

Na Figura 11 e Figura 12 a seguir, buscamos mostrar a forma como a água passa através do rotor da turbina do tipo Francis, fazendo-a girar. As setas vermelhas indicam onde a água entra e as verdes por onde ela sai.

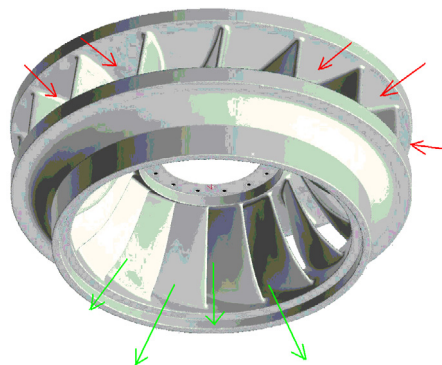


**Figura 11: Fluxo de água 1**

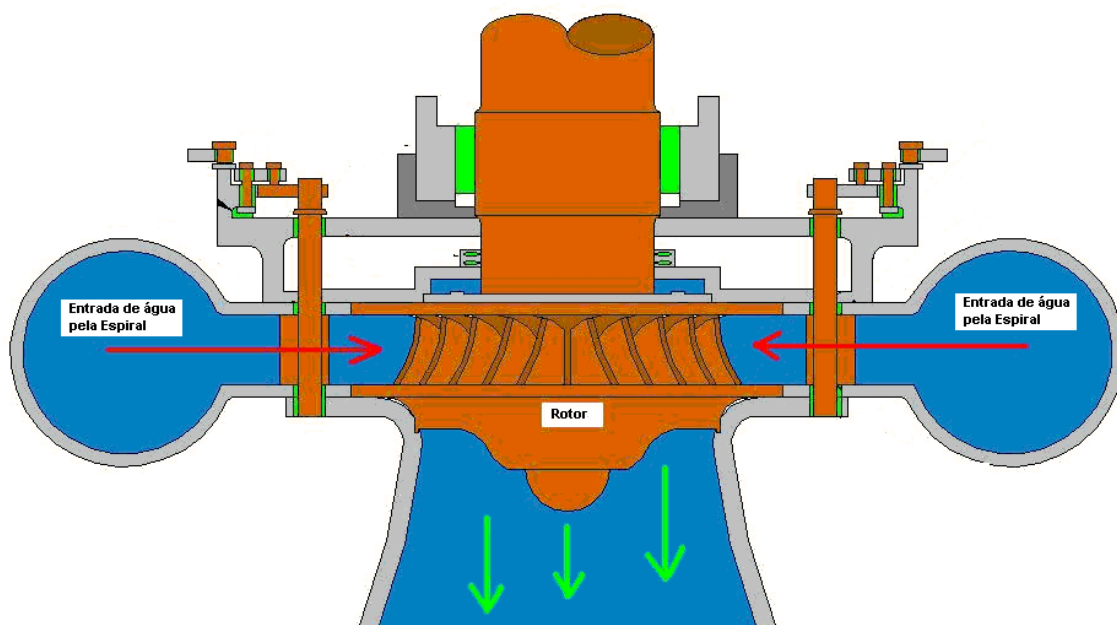


**Figura 12: Fluxo de água 2**

Como vemos nas figuras acima e nas demais, a água entra pela espiral, passa através do rotor, onde o fluxo de água faz o mesmo girar. Por fim a água sai pela parte de baixo, após passar por dentro do rotor através de suas pás.



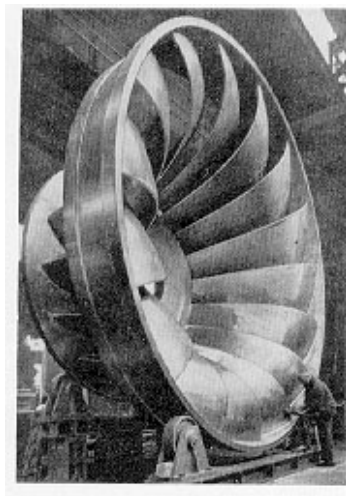
**Figura 13: Fluxo de água 3**



**Figura 14: Fluxo de água 4**

No Brasil, grande parte das usinas foram construídas nas décadas de 70 e 80, usando, na maioria dos casos, turbinas do tipo Francis; as unidades hidráulicas que compõem as usinas hidroelétricas são geralmente equipamentos de grande porte (VALMÓRBIDA, 2003). Os rotores são constituídos de aço, podendo apresentar mais de 9 metros de diâmetro e massa de até 300 toneladas. Na Figura 15 abaixo vemos um homem ao lado de um rotor do tipo Francis.





**Figura 15: Rotor tipo Francis**

A passagem da água através das pás do rotor causa o desgaste das mesmas, devido ao fenômeno da cavitação.

A cavitação ocorre nos locais onde a pressão da água dentro da turbina atinge a pressão de vapor do líquido. As bolhas de ar contidas na água ao chegarem nestas áreas de alta pressão se comprimem até implodirem (ANJOS, 2004). A energia liberada pela implosão das bolhas é suficiente para danificar as paredes metálicas do rotor, facilitando assim a erosão. Devido ao desgaste causado pela cavitação, são necessárias paradas periódicas para reparos das pás do rotor (CONTO, 2003).

O desgaste nas pás do rotor se dá na forma de crateras, como vemos na Figura 16 abaixo em uma cavitação em estágio avançado.



**Figura 16: Cavitação**

O perfil hidráulico do rotor é projetado visando grande eficiência hidráulica e condições de escoamento adequadas, buscando minimizar a cavitação nas condições de funcionamento. Além da erosão dos componentes a cavitação produz também vibrações, ruídos, redução do rendimento da turbina (CALAINHO, 1999) e pode comprometer a integridade estrutural do conjunto, cuja falha pode ser catastrófica (KAPP, 2000).

A tarefa a ser realizada para a manutenção do rotor é a recuperação das áreas danificadas na forma de crateras.

### 4.3 Recuperação Manual

A recuperação das áreas danificadas é feita através da deposição de material por soldagem na cratera, buscando-se assim recompor o perfil geométrico original da pá do rotor. No Brasil, todos os casos de recuperações de turbinas são efetuadas de forma manual (KAPP, 2000). Os materiais usado na recuperação são, geralmente, ligas especiais de aço inoxidável, um material mais caro que o original do rotor, geralmente uma liga de aço carbono.

Inicialmente para realizar a recuperação é preciso tornar o local onde se localizam as crateras acessível a equipe que fará a recuperação. Como a erosão ocorre nas pás do rotor, local por onde passa a água que gera a energia, é necessário parar a turbina para a tarefa de reparo.

O primeiro passo é o fechamento da entrada de água para em seguida ser drenada a água da parte interna da turbina. Uma vez que o ambiente foi drenado, é montado um andaime para que a equipe possa acessar as pás do rotor. Na Figura 17 e Figura 18 abaixo vemos a parte que é drenada e a localização do andaime.

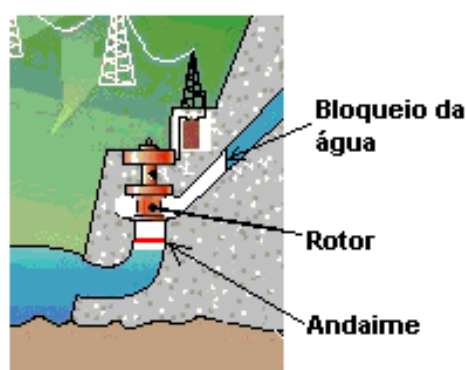
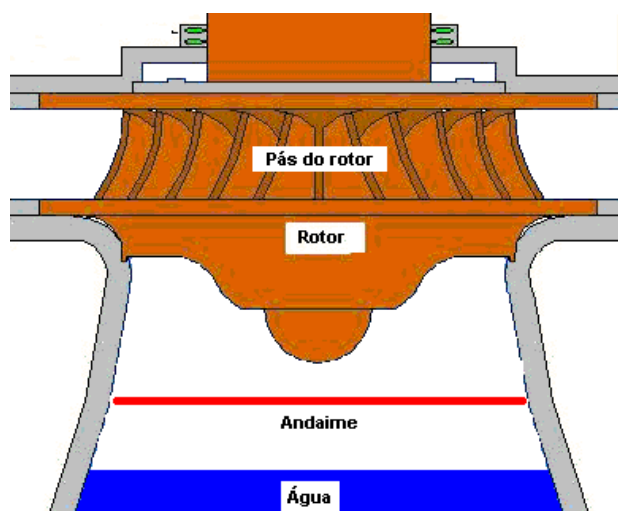
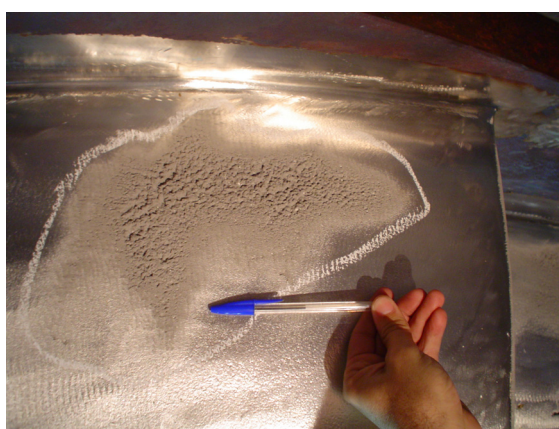


Figura 17: Localização do andaime 1



**Figura 18: Localização do andaime 2**

A equipe de recuperação inicialmente examina as pás e identifica as regiões danificadas. O passo seguinte é o condicionamento da cratera para a soldagem. Na Figura 19 abaixo vemos uma cratera que ainda não foi condicionada para a solda:



**Figura 19: Cratera não condicionada para solda**

Este condicionamento é feito através de goivagem, Figura 20, e em seguida com esmerilhamento, Figura 21, como vemos a seguir.



**Figura 20: Goivagem**



**Figura 21: Esmerilhamento**

Uma vez esmerilhada a cratera adquire uma superfície suave, própria para a aplicação da solda.



**Figura 22: Cratera condicionada**

A recuperação é feita depositando-se então tantas camadas de soldagem quanto forem necessárias para o preenchimento da cratera. As quantidades de material depositado são da ordem de 1000 kg por rotor (KAPP, 2000).

A etapa seguinte é um novo esmerilhamento para obter-se uma superfície lisa próxima ao perfil original da pá do rotor.

A qualificação da soldagem é feita usando-se um líquido penetrante especial que identifica poros e evidencia crateras que precisarão serem refeitas. Tal procedimento consiste em esmerilhar novamente a solda que foi depositada e depositar novamente camadas de solda, para ser qualificada novamente.

Uma vez que as crateras foram recuperadas é desmontado o andaime, evacuado o local, o canal de água é liberado e a turbina volta a operar gerando energia elétrica.

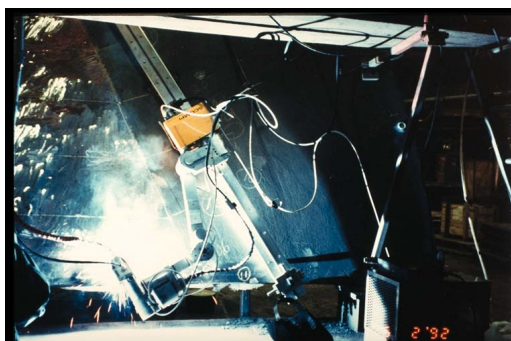
#### **4.4 Recuperação Robotizada**

Por suas características, a recuperação de turbinas poderia ser efetuada com vantagens pela soldagem robotizada. Entretanto, há um grande problema a ser superado: a limitação de espaço físico no interior de uma turbina hidráulica de grande porte inviabiliza o uso de um robô convencional. Países que tradicionalmente desenvolvem robôs, como o Japão, Estados Unidos e Alemanha, não estão empenhados na solução deste problema por não estarem tão afetados pelos efeitos da cavitação em turbinas, uma vez que quase a totalidade de sua energia elétrica é gerada termicamente (KAPP, 2000).

A Companhia canadense Hydro Quebec desenvolveu, em parceria com universidades locais, o robô SCOMPI, especificamente projetado para esta tarefa. Trata-se de um sistema que se desloca sobre trilhos curvos no reduzido volume entre as pás adjacentes da turbina. Este sistema não é dotado de nenhuma capacidade de sensoriamento da região que está sendo soldada, mas pode ser programado para depositar material por soldagem em superfícies curvas com reduzido volume de trabalho e com boa qualidade. Abaixo vemos algumas fotos do robô:



**Figura 23: Robô SCOMPI 1**



**Figura 24: Robô SCOMPI 2**

Embora seja adequado para boa parte das tarefas envolvidas na recuperação de turbinas, este sistema não está à venda. Pode ser alugado por US\$ 50.000 semanais e sua disponibilidade é limitada. Considerando o preço do aluguel, o tempo necessário e demais despesas, o custo total de um reparo resultaria no dobro dos gastos hoje efetuado pelo reparo manual. Além do custo elevado, a dependência dos serviços da Hydro Quebec caracterizaria uma dependência tecnológica (KAPP, 2000).



Há disponíveis no mercado mundial alguns módulos motorizados para soldagem, como por exemplo, o sistema BUG-O ([www.bugo.com](http://www.bugo.com)). Além de onerosos, estes sistemas são muito limitados, pois não permitem o controle apropriado dos parâmetros de soldagem nem a trajetória e orientação da tocha de soldagem com a flexibilidade necessária para aplicações complexas.

Na América Latina não há nenhum registro de iniciativas que levem ao desenvolvimento de processos de soldagem robotizados para recuperação de turbinas hidráulicas (KAPP, 2000).

## **4.5 Projeto Roboturb**

Com o objetivo de realizar a tarefa de recuperação das pás de rotores de turbinas hidráulicas de forma robotizada surgiu o projeto Roboturb.

O robô foi projetado e construído através de uma parceria entre diversos laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina e o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, o LACTEC do Paraná.

### **4.5.1 Equipe**

Para a execução do projeto foi formada uma equipe multidisciplinar, reunindo 50 pessoas entre engenheiros, mestres, doutores, professores, estudantes de mestrado, doutorado e iniciação científica.

O projeto foi dividido em 5 laboratórios da UFSC e o LACTEC:

- LCMI (Laboratório de Controle e Micro Informática) – *software* e integração do sistema;
- LAR – Laboratório de Robótica – Concepção mecânica e cinemática;
- LABMETRO - Laboratório de Metrologia - desenvolvimento do sensor de medição das cavitações;
- LABSOLDA - Laboratório de Soldagem - desenvolvimento das fonte de solda e escolha do processo de deposição;
- GRUCON (Grupo de Comando Numérico) – dimensionamento e ajuste dos acionamentos;
- LACTEC - projeto mecânico e gerenciamento do projeto.

### 4.5.2 Financiamento

Das medidas já adotadas pelo governo federal cabe ressaltar a lei nº 9991 de 24/07/2000 que obriga as empresas do setor de energia elétrica a investirem 0,25% de sua ROL (Receita Operacional Líquida) em um fundo que financiaram projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Metade dos recursos que uma empresa do setor elétrico investe no fundo são usados para financiar programas de P&D propostos pela própria empresa. Estes programas devem ser executados por entidades de ensino como as universidades. Desta forma o governo incentiva as empresas do setor de energia a direcionarem as pesquisas de forma a desenvolver tecnologia que será diretamente aplicada na indústria. A auditoria e supervisão dos recursos, assim como a aprovação das propostas de P&D das empresas é feito pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

A primeira fase do projeto Roboturb foi iniciada em dezembro de 1998 através do financiamento PADCT - Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos em parceria com a COPEL através de um projeto cooperativo setorial. A segunda fase de financiamento do projeto foi em 2000 através de um edital do programa de P&D da ANEEL lançado pela COPEL – Companhia de Energia Elétrica do Paraná, para a recuperação de turbinas. Após a aprovação do edital, foi conseguido outro financiamento junto ao CNPq pelo programa RHAE - Programa de Desenvolvimento de Recursos Humanos para Atividades Estratégicas. Em 2002 venceu o projeto junto a COPEL e foi iniciado um outro projeto de P&D da ANEEL junto a FURNAS (TAOUIL, 2004) que encerrou no final de 2004.

A distribuição do aporte de recursos ao projeto Roboturb foi a seguinte:

<b>Instituição</b>	<b>Valor</b>
PADCT/FINEP	R\$ 745.000,00
COPEL - contrapartida PADCT	R\$ 693.000,00
P&D COPEL	R\$ 413.000,00
RHAE/CNPq	R\$ 400.000,00
P&D FURNAS	R\$ 1.761.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 4.012.000,00</b>

**Tabela 10: Distribuição do aporte de recursos**



### 4.5.3 Descrição do Roboturb

O robô construído realiza a etapa de solda da recuperação, a seguir descreveremos os componentes do robô e em seguida como é feita a recuperação usando o mesmo.

O sistema funciona da seguinte maneira: o operador controla o robô pelo computador industrial (PXI) via *software* ou pelo controle remoto. A unidade de potência é a parte intermediária robô-computador, sendo a responsável pela fonte de tensão que alimenta os motores. O sensor laser e a tocha de solda são as ferramentas que o robô utiliza. Sendo que o sensor captura pontos da superfície cavitada gerando uma representação numérica e a tocha realiza a solda. O trilho flexível é a junta prismática do robô, sendo flexível para sua fixação em superfícies curvas podendo utilizar ventosas ou bases magnéticas. Cada parte será explicada agora de forma mais aprofundada.

Na construção do *hardware* procurou-se empregar o máximo possível de componentes prontos, disponíveis no mercado e consagrados em suas funções, visando assim minimizar os riscos tecnológicos do desenvolvimento, mesmo que num primeiro momento fossem mais custosos (VALMÓRBIDA, 2003).

### 4.5.4 Manipulador

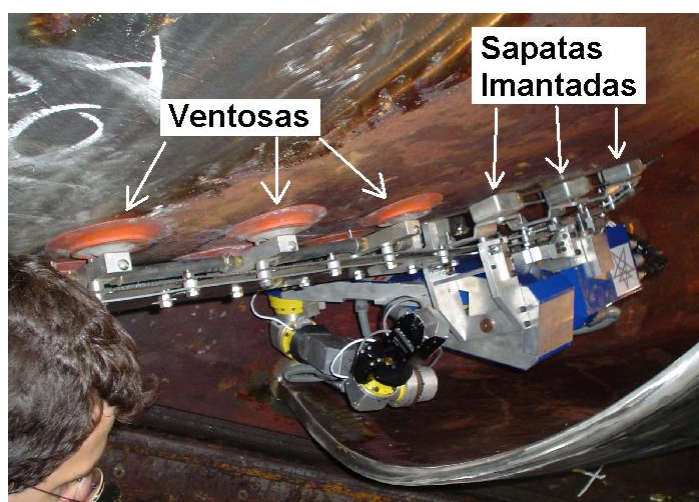
O manipulador (robô) possui seis juntas rotativas e uma prismática na forma de um trilho flexível (explicado em seguida). Sua pequena dimensão, agilidade e seu pequeno peso (em torno de 20kg) facilitam seu transporte e instalação.



Figura 25: Roboturb no laboratório

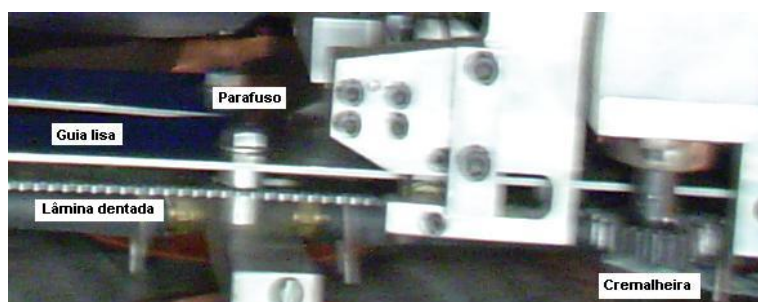
#### 4.5.5 Trilho Flexível

O trilho conta com sapatas imantadas ou ventosas que permitem a fixação do robô nas pás do rotor. No caso da superfície de fixação ser o aço carbono, que possui porosidade considerável devido a cavitação e é ferromagnético, são usadas sapatas imantadas; no caso de ser o aço inox, ou seja, uma superfície que já foi anteriormente recuperada, são usadas as ventosas pois a superfície é mais lisa e não é ferromagnética.



**Figura 26: Trilho flexível**

O trilho é composto por duas lâminas de metal, uma é lisa e serve como guia e a outra dentada. A tração do manipulador é feita na lâmina dentada através de um mecanismo de dupla cremalheira com molas, evitando assim folgas. As duas lâminas são unidas através de parafusos, conforme a figura abaixo.



**Figura 27: Detalhe do trilho**

Quando os parafusos estão soltos o trilho torna-se flexível. Ele é colocado na pá da turbina. Em seguida os parafusos são apertados e o trilho torna-se então rígido.

Essa peculiaridade em seu trilho é exigida para que o robô possa ser fixado na superfície da pá do rotor. O trilho tem comprimento de 1200 mm e pode ser fixo em superfícies com raio de curvatura mínimo de 600 mm.

#### 4.5.6 Controlador

O computador utilizado é do tipo industrial PXI baseado em um processador PENTIUM III 700 MHz. Nele é feito todo controle, análise de dados e geração de trajetórias através de *softwares* gerados pela equipe. O *hardware* do PXI é todo da National Instruments ([www.ni.com](http://www.ni.com)):

- a) Módulo processador (PENTIUM III 700 MHz);
- b) Duas placas de controle de movimento FlexMotion (MC7344);
- c) Uma placa de captura de imagem (IMAQ1407);
- d) Duas placas para comunicação serial:
  - Uma RS 232 ,que faz interface com o controle remoto (LCD/teclado; joystick);
  - Uma RS 485, que faz interface com a fonte de solda;
- e) Uma placa de aquisição analógica/digital e digital/analógica, que faz interface com o giroscópio utilizado na medição do trilho (NIDAQ).



Figura 28: Controlador

#### 4.5.7 Unidade de Potência (BUSCHINELLI, 2004)

A Unidade de Potência é responsável pelo acionamento do robô, da alimentação elétrica de suas ferramentas e faz a interface entre o PXI (computador industrial) e o robô. Os principais componentes:

- Fusível de 10A como proteção.
- Transformador toroidal (saídas de 125; 45,5; 16; 10,4 e 10 Volts AC). A escolha por um transformador de núcleo toroidal deve-se a sua alta eficiência, menor peso e dimensões reduzidas. Com o núcleo em formato toroidal, não há gaps (emendas) nas chapas, diminuindo consideravelmente o campo magnético irradiado ao redor do transformador, resultando em uma baixíssima interferência em circuitos sensíveis próximos ao transformador. Além disso, como o núcleo é constituído por uma única chapa, enrolada sobre si mesma, a vibração mecânica, e o conseqüente ruído, são praticamente nulos. A utilização de aço silício GO (grão orientado) no núcleo ocasiona perdas menores, resultando em uma baixa corrente "em vazio", diminuindo o aquecimento e economizando energia.
- Fonte retificadora/reguladora de tensão que alimentam os respectivos componentes:
  - +42,6 V: Sete placas servo amplificadoras ADS\_E 50/5;
  - +12 V: Teach Pendant, Sensor Laser;
  - +6 V: Sensor Laser;
  - +5 V: Sete encoders.

As dez placas da unidade de potência são o intermediário entre o robô e o computador. Sendo estas:

- Sete placas controladoras ADS\_E 50/5;
- Duas placas UMI (*Universal Motion Interface*) da National Instruments;
- Uma placa Multi I/O da National Instruments;

As duas placas UMIs e a Multi I/O são apenas placas de conectividade, que facilitam o desenvolvimento em laboratório do projeto. Todo controle é realizado pelas placas controladoras MC7344 localizadas no Computador PXI, que recebem os sinais vindos dos encoders, chaves fim de curso e ópticas que passam antes pelas UMIs. O sinal de controle dos

motores é enviado para UMIs que por sua vez passam para as placas ADS que por fim fornecem a corrente e tensão necessárias para a execução do movimento da junta requerido. A malha de controle é fechada pelo sinal do encoder que indica a posição e velocidade do motor.

#### **Placas UMI (Universal Motion Interface)**

As placas UMI são acessórios de conectividade e são usadas no projeto com as placas controladoras (*Motion Control Board*) MC7344. Cada UMI controla até quatro eixos, independentemente ou simultaneamente. Essas placas foram usadas para facilitar a conexão e desenvolvimento do robô, facilitando o acesso aos sinais que são facilmente verificados nos bornes da placa.

Algumas características da placa:

- Simplifica o cabeamento em campo com encoder separado, chave fim de curso e driver/amplificador bloco de terminais por eixo;
- É ideal para aplicações industriais e de laboratório;
- Todos blocos de terminais são padronizados industrialmente e não requerem de nenhum equipamento especial para instalação da fiação.

#### **Placas ADS\_E 50/5**

A placa ADS\_E 50/5 é um amplificador para controlar motores de ímãs permanentes de até 250W. São as placas ADS que alimentam os motores, fornecendo a corrente e tensão necessária para executar o movimento requerido.

Quatro modos podem ser alternados pelos DIP *switches* na placa:

- Controle de velocidade usando o sinal Tacho
- Controle de velocidade usando o encoder
- Controle de velocidade compensado IxR
- Controle de torque ou de corrente

#### **Placa Multi I/O (SCB-68)**

É uma placa multi-função que assim como as UMIs está sendo usada nesta fase de desenvolvimento e consolidação do protótipo do robô. Atualmente foi útil para realizar o disparo da solda por sua saída digital e também vem sendo utilizada para filtrar o sinal dos giroscópios retirando componentes de alta frequência pois a placa possibilita a confecção de filtros RC.

#### 4.5.8 Controle Remoto

Consiste em um painel ligado ao controlador do robô com um conjunto de manoplas, botões de comando e um visor LCD (*Liquid Cristal Display*). Este painel permite que o operador possa posicionar o robô com facilidade, por observar efetivamente em que posição o robô está. Botões são usados para atuar sobre os eixos do robô, fazendo com que este se mova, permitindo sua colocação no ponto do espaço desejado.

É possível atuar com o controle remoto junta a junta ou no espaço cartesiano. Atuando no espaço cartesiano, é possível por exemplo, fazer com que o efetuador final mova-se em linha reta pelos eixos x, y ou z.



Figura 29: Controle remoto

#### 4.5.9 Ferramentas: Sensor Laser

O sensor laser desenvolvido pela equipe de metrologia realiza a varredura da superfície externa e interna da cavitação através de três feixes de laser e captura as imagens por uma câmera. A câmera mede a posição da projeção de três folhas de luz emitidas por um laser simultaneamente.

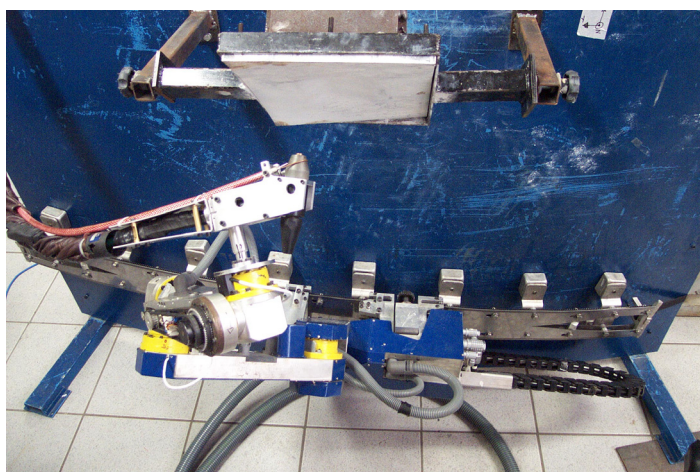
A partir da foto tirada pela câmera é possível determinar a posição dos pontos no feixe de laser e assim fazer uma representação numérica da superfície, para em seguida determinar qual estratégia de solda será usada e a trajetória do robô para realizá-la.



**Figura 30: Sensor laser**

#### **4.5.10 Ferramentas: Tocha de Soldagem**

O robô utiliza para realizar a solda uma tocha de solda plasma ligada a uma fonte de solda DIGITEC, desenvolvida pelo Labsolda da UFSC. Abaixo vemos na Figura 31 uma foto do robô com a tocha de solda.



**Figura 31: Robô com a tocha de solda**

#### **4.5.11 Software**

O *software* tem por objetivo facilitar a interface com o robô a tal ponto, que o mesmo possa ser operado por um técnico ou um soldador. A linguagem escolhida para o desenvolvimento é o C/C++.

As rotinas de movimento do robô são fornecidas junto as placas da National Instruments, através da API denominada *FlexMotion*, que estabelecem uma gama de funções encapsuladas pelo fabricante.



#### **4.5.12 Giroscópio**

O giroscópio é um equipamento utilizado freqüentemente no controle de aviões e mísseis. Esta caixa preta de aproximadamente 10x10x3 centímetros é capaz de medir velocidades angulares. Através de dois giroscópios ópticos, um usado para medir torção e outro para flexão, foi criado, através de uma tese de doutorado, um sistema de medição capaz de medir a forma do trilho flexível sempre que ele é fixado na turbina, onde o robô desloca-se de um extremo ao outro do trilho com os giroscópios acoplados fazendo a leitura.

#### **4.5.13 Acionamentos**

São usados servo-motores Maxon de corrente contínua com escovas. A potência varia de 20 W (nas três juntas do punho e na última junta do braço articulado), 90W (na junta intermediária do braço articulado e no acionamento do carro sobre o trilho) e 150W (na junta de base do braço articulado).

#### **4.5.14 Encoders**

É um tipo de transdutor que permite obter informações por um sinal digital de posição e velocidade. Com esses dados fecha-se a malha de controle do motor.

É dotado de um conjunto de emissores e receptores infravermelhos e um disco com ranhuras, solidário ao eixo do motor que esta sendo controlado. Conforme o movimento do eixo são gerados pulsos que devem ser contados. Estes pulsos têm informação discreta sobre a posição do eixo. Com base em um intervalo de amostragem constante, pode-se também obter a velocidade de rotação.

### **4.6 Processo Robotizado de Recuperação com o Roboturb**

Assim como o processo recuperação manual, no processo robotizado é necessário parar a turbina, drenar a água, colocar os andaimes, preparar a superfície para a solda.

O processo de recuperação robotizada da turbina é dividido nas seguintes etapas: inicialização do sistema, zeragem, medição, soldagem, qualificação e finalização. Cada uma delas será descrita em detalhes.

#### **1. Inicialização**



Nesta etapa é inicializado e testado o sistema. Após o sistema robótico ser transportado pelos operadores até o andaime, o operador fixa o trilho flexível na pá da turbina, em seguida liga o sistema (controlador e unidade de potência), posteriormente testa a comunicação com a fonte de solda e o sensor laser.

## **2. Zeragem**

A zeragem consiste em fazer o robô, toda vez que é ligado, encontrar uma referência física conhecida. A essa referência é associada uma posição da junta. Isto se faz necessário, pois quando o robô é desligado as informações de posição absoluta dos *encoders* são perdidas. Ao levarmos a junta que está sendo zerada à uma posição conhecida, já sabemos previamente qual o número de pulsos de *encoders* absoluto referentes àquela posição.

Cada junta do robô possui 2 chaves de fim de curso mecânicas, exceto as juntas ópticas (juntas 5 e 7). Estas chaves são as referências conhecidas. O robô atinge a chave de fim de curso e executa a rotina de zeragem da junta correspondente, onde ao fim desta é associado aquela posição física um valor absoluto de pulsos de *encoder*. O mesmo ocorre para as juntas com chaves de fim de curso ópticas.

A zeragem é útil para que se possa movimentar o robô de modo absoluto. Enquanto o robô não tiver sido zerado só é possível movimenta-lo de modo relativo, como por exemplo 15 graus no sentido direto ou 50.000 pulsos de *encoder* no sentido reverso. Após o robô zerado é possível envia-lo a posição absoluta de zero grau, 90 graus, -45 graus, -45.000 pulsos, 0 pulsos, etc. Enquanto o robô não estiver zerado não é possível movimenta-lo por coordenadas cartesianas, ou seja, utilizando algoritmos de cinemática inversa.

A zeragem do trilho possui algumas peculiaridades por ser a única junta prismática. Como o trilho é flexível, ele pode ser flexionado e torcido. Para operar o robô é necessário medir esta flexão do trilho. Este processo é feito através dos giroscópios, um para torção e outro para flexão.

## **3. Medição**

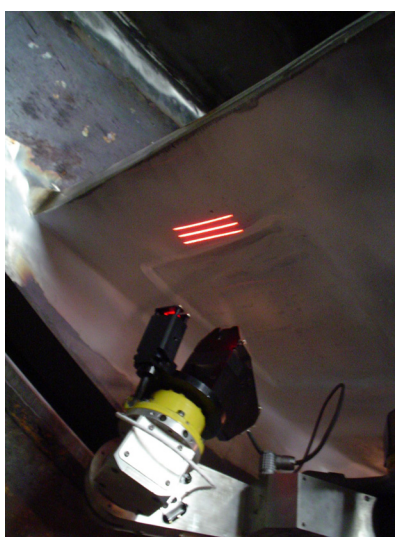
A etapa de medição visa obter uma representação numérica da cratera a ser recuperada. Esta operação divide-se em duas etapas, a medição manual e a medição automática.

Inicialmente o operador, utilizando o controle remoto para comandar o robô, captura pontos em torno da cratera a ser recuperada. Essa é a etapa de medição manual. Além de capturar pontos externos a cratera, o operador também captura pontos internos.

Nas figuras abaixo vemos o robô medindo um ponto externo a cratera.



**Figura 32: Robô medindo a cratera 1**



**Figura 33: Robô medindo a cratera 2**

A partir desses pontos capturados o *software* calcula a representação numérica da superfície. Com essa representação aproximada da localização e dimensões da cratera é passado a etapa de medição automática.

Nessa segunda etapa o Roboturb, agora independente do operador, executa uma medição automatizada visando obter uma representação numérica mais detalhada. A trajetória executada pelo robô nessa etapa é calculada a partir dos pontos capturados manualmente. Através dessa trajetória serão capturados novos pontos, gerando uma representação numérica da cratera através da interpolação dos pontos capturados através da medição automática. São

produzidas duas representações numéricas: uma da superfície ideal (caso não tivesse ocorrido cavitação) e outra da superfície real. O volume resultante da diferença entre uma e outra é a quantidade de aço que será depositada.

#### **4. Soldagem**

O objetivo desta etapa é preencher a cratera cavitada com aço. Inicialmente o operador troca a ferramenta do efetuador final, tirando o sensor laser e colocando a tocha de solda.

A soldagem pode ser feita com um único, 2 ou 3 materiais, variando conforme a política utilizada por cada usina. A razão disto é que em alguns casos, por exemplo de uma cratera muito profunda, deseja-se preencher a cratera com um material mais barato, e depositar somente as últimas camadas de uma liga mais cara e resistente a cavitação.

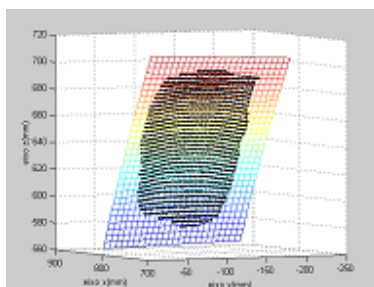
Configurado o tipo de solda que será feito, o operador usando o controle remoto, movimenta o efetuador final próximo à cratera. É feito o primeiro cordão de solda. O sistema pára e aguarda uma confirmação do operador de que tudo foi bem sucedido. Após esta confirmação o sistema procede com a solda.

Na Figura 34 abaixo temos o robô executando uma solda em campo.



**Figura 34: Robô soldando**

Na figuras abaixo vemos a representação numérica (Figura 35) calculada na etapa de medição da cratera e a primeira camada seguida por uma camada executada pelo robô em um corpo de prova (Figura 36).



**Figura 35: Representação numérica**



**Figura 36: Primeira camada de solda**

Cabe ainda ressaltar que o Roboturb utiliza um processo de solda inédito, o plasma com realimentação de arame pulsado. Tal processo foi desenvolvido pelo LABSOLDA.

Tanto SCOMPI, robô canadense, quanto a recuperação manual utiliza o processo MIG/MAG.

O processo de plasma apresentou um acabamento superior ao processo MIG/MAG. Esse acabamento melhor resulta em menos material que terá de ser retirado na fase de esmerilhamento. Outro ponto positivo do plasma em relação ao MIG/MAG é a ausência de respingos de solda. Tal condição contribui para uma diminuição da insalubridade e melhor aproveitamento do material de deposição.

## **5. Qualificação**

Feita a solda, o sensor laser é recolocado no efetuador final. Com os dados adquiridos na medição e na soldagem o sistema gera uma nova trajetória automática de medição, com o intuito de qualificar a soldagem. O sistema executa esta nova medição e exibe os dados e o gráfico da superfície recuperada. Aqui é feita a comparação entre a superfície desejada e a superfície obtida.

Obtendo-se uma qualificação positiva o robô é retirado da turbina pelos operadores e em seguida é realizada a etapa de esmerilhamento para uma posterior liberação da turbina.

## **5 Estudo de Caso do Projeto Roboturb**

### **5.1 Introdução**

O objetivo do capítulo é analisar o caso do projeto Roboturb sob o ponto de vista de impactos gerados, dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto devido a conjuntura brasileira e resultados gerados. O capítulo analisa inicialmente os impactos do Roboturb no setor de geração de energia elétrica e em seguida impactos que abrangem outras áreas.

### **5.2 Importância da Geração de Energia**

O meio geográfico brasileiro é muito favorável à construção de usinas hidrelétricas. Exceto na maior parte da Região Norte, existem grandes rios de planalto com grande potencial hidráulico. Levando em conta também, a inexistência de grandes jazidas carboníferas e a concentração das áreas de exploração apenas na Região Sul (cerca de 77% em Santa Catarina), temos como resultado que a maior parte da energia elétrica produzida no Brasil é de origem hidrelétrica.

Desde a instalação da primeira usina hidrelétrica da América Latina, em Juiz de Fora, Minas Gerais, no leito do Rio Paraibuna, em 1889, muitos avanços e melhorias foram alcançadas, mas, ainda restam problemas sem soluções implementadas, seja por limitações tecnológicas, financeiras ou políticas (TAOUIL, 2004).

No Brasil, as usinas hidroelétricas fornecem aproximadamente 92% da energia elétrica consumida (BONACORSO, 2002). Construídas em grande parte nas décadas de 70 e 80, usando, na maioria dos casos, turbinas do tipo Francis; as unidades hidráulicas que compõem as usinas hidroelétricas são geralmente equipamentos de grande porte (VALMÓRBIDA, 2003). Seus rotores são constituídos de aço, podendo apresentar mais de 9 metros de diâmetro e massa de até 300 toneladas. O custo de um destes rotores pode chegar a US\$ 2.000.000,00.

### **5.3 Frequência da Cavitação**

Hoje no país, cerca de 75% das usinas hidroelétricas têm problemas relacionados a cavitação em seus equipamentos. Problema este que é típico em grande parte das plantas hidroelétricas do país.

Apesar de grandes avanços nas técnicas de modelamento numérico em mecânica dos fluidos, ainda não se consegue evitar em 100% dos casos o fenômeno da cavitação em turbinas hidráulicas. Nas turbinas mais antigas, maioria no Brasil, que ainda estarão em operação por pelo menos meio século, este problema é mais intenso. Sendo economicamente inviável e tecnicamente complexa a substituição dos rotores.

Mesmo que, repentinamente, os novos projetos fossem imunes a esse problema, as turbinas já instaladas, com vida útil de muitos anos, ainda precisariam ser periodicamente reparadas. Se fosse econômica e tecnicamente viável, a eventual troca do rotor apenas não seria uma garantia de extinção do problema, pois não é possível alterar os demais elementos que compõem a máquina hidráulica (caixa espiral, pre-distribuidor, distribuidor e tubo de sucção) sem profundas alterações na planta, o que é economicamente inviável (KAPP, 2000).

Como vimos anteriormente (ver cap. 4) durante a etapa de recuperação das pás com cavitação a turbina deve ficar parada, ou seja, ela pára de gerar energia elétrica. Como vimos nos anos anteriores, o setor de energia elétrica brasileiro está operando no limite. A parada de uma unidade de geração acaba fazendo com que o sistema de geração como um todo tenha uma capacidade de geração menor. Do ponto de vista estratégico, levando em conta que a capacidade de fornecimento regular de energia é um fator decisivo para viabilizar o desenvolvimento econômico do país, a elevação da disponibilidade de máquinas geradoras de energia – resultante de operações de manutenção mais rápidas e duradouras – estará maximizando a capacidade do país em fornecer energia elétrica a curto prazo.

Uma melhora na etapa de manutenção pode ter suas conseqüências ampliadas pelo contexto que o Brasil vive hoje. É esperada uma demanda crescente de energia elétrica, devido ao crescimento econômico do país. Por outro lado poucos investimentos tem sido destinados à expansão do parque de usinas hidroelétricas tanto pelo governo federal quanto pelo setor privado. Logo conclui-se que ações de recuperação de turbinas, que resultem na redução do tempo gasto na manutenção das máquinas e que elevem o tempo entre paradas para manutenções, isto é, que aumentem a disponibilidade do sistema gerador de energia, vão ao encontro dos interesses nacionais.

A Tabela 11 apresenta o resultado de uma pesquisa realizada (BONACORSO, 2002) junto as principais concessionárias sobre a situação da cavitação nas turbinas hidráulicas brasileiras.

Instalação	Tipo de Turbina	Nº de Unidades com Cavitação	Potência Nominal (MW)	Queda Nominal (m)	Horas de Operação (h)	Quantidade Depositada por Unidade (kg)	Custo do Reparo por Unidade (R\$)
S. Simão	Francis	6	285,00	72,0	32.000	160	37.440,00
B. Munhoz	Francis	4	359,00	128,0	15.000	450	27.495,00
Três Marias	Kaplan	6	61,00	50,0	40.000	120	27.200,00
Jaguara	Francis	4	116,00	45,0	23.000	207	49.910,00
V. Grande	Kaplan	4	100,00	25,0	30.000	390	99.900,00
S. Grande	Francis	4	27,00	95,0	26.000	54	9.880,00
Emborcação	Francis	4	297,00	128,5	30.000	90	20.100,00
Camargos	Kaplan	2	22,00	22,0	30.000	60	12.600,00
Itutinga	Kaplan	4	12,00	25,0	32.000	64	12.480,00
N. Ponte	Francis	3	173,00	96,0	16.000	48	12.480,00
Furnas	Francis	8	152,00	94,0	35.000	70	N.I.
M. Moraes	Francis	2	45,00	45,0	35.000	35	4.900,00
L.C.V. Carv.	Francis	6	170,00	60,8	35.000	875	1.490,00
P. Colombia	Francis	4	80,00	20,0	35.000	70	5.950,00
Marimbondo	Francis	8	186,00	60,3	35.000	70	6.650,00
Itumbiara	Francis	6	354,00	80,0	21.000	1.071	60.060,00
Funil	Francis	3	72,00	67,0	35.000	35	4.550,00
Corumbá	Francis	3	125,00	73,5	N.I.	N.I.	N.I.
Tucuruí	Francis	12	360,00	66,0	21.000	21	N.I.
C. Nunes	Kaplan	2	20,00	23,0	8.600	43	4.988,00
I. Solteira	Francis	20	161,50	46,0	20.000	440	70.600,00
Jupia	Kaplan	14	100,80	25,4	20.000	1.300	119.400,00
Três Irmãos	Francis	6	54,00	45,8	20.000	1.000	100.000,00
N. Avahan.	Kaplan	3	34,00	29,7	20.000	100	30.000,00
Promissão	Kaplan	3	88,00	27,4	20.000	100	30.000,00
Chavantes	Francis	4	103,50	76,0	20.000	20	40.000,00
Capivara	Francis	4	160,00	50,0	20.000	20	35.000,00
Rosana	Kaplan	4	80,00	17,0	20.000	40	25.000,00
Taquaruçu	Kaplan	5	100,80	23,0	20.000	20	32.000,00
Jurumirim	Kaplan	2	48,75	35,0	20.000	20	20.000,00
Sobradinho	Francis	6	178,00	27,2	24.000	N.I.	N.I.
S. Santiago	Francis	4	355,00	106,0	18.000	198	54.000,00
S. Osório A	Francis	4	182,00	70,0	22.287	178	20.058,00
S. Osório B	Francis	2	175,00	70,0	23.601	94	21.241,00
Passo Fundo	Francis	2	110,00	253,0	26.000	26	N.I.

**Tabela 11: Situação da cavitação em turbinas hidráulicas no Brasil, outubro de 1997 (BONACORSO, 2002)**

N.I. = Não Informado

## 5.4 Custo de uma Recuperação Manual

O custo de uma recuperação manual irá depender do custo da mão-de-obra e da quantidade de material, por exemplo a liga de aço inox, que será necessário para a recuperação das cavitações. Quanto mais avançado for o estágio da cavitação e quanto maior o tamanho do



rotor, maiores serão os custos ligados a recuperação. Tipicamente, uma recuperação de turbina de grande porte por deposição manual envolve a deposição de aproximadamente 1000 kg de material em 16 dias de trabalho e custa cerca de US\$ 170.000, sem considerar o lucro cessante causado pela máquina parada. Cerca de 50% dos custos refere-se a mão-de-obra e 20% a materiais consumíveis (KAPP, 2000).

## 5.5 Características da Recuperação Manual

Atualmente, apesar de todas as recuperações de turbinas serem feitas na forma manual, essa ainda convive com uma série de problemas e desafios.

Sob o ponto de vista técnico, devido à geometria do rotor e a forma como a cavitação ocorre, muitas das crateras que precisam ser recuperadas necessitam que a solda efetuada seja feita em uma posição chamada sobre cabeça, como podemos observar na Figura 37 abaixo de uma recuperação manual:



**Figura 37: Solda sobre cabeça**

Na Figura 37, vemos o soldador sobre o andaime, recuperando uma cratera localizada em uma das pás do rotor. O fato da solda ser depositada de baixo para cima torna o processo bastante instável, pois a dificuldade de adesão do metal fundido em transferência do eletrodo à superfície torna-se mais difícil. Isso faz com que a habilidade necessária pelo soldador para tal reparo aumente bastante.

Além do fato de realizar a solda sobre cabeça, em muitos casos são necessários reparos entre as pás do rotor, o que representa um local com espaço bastante restrito, como podemos observar na Figura 38 abaixo:



**Figura 38: Solda em ambiente restrito**

Esse espaço restrito também dificulta bastante o trabalho de solda. Além desses fatores citados, a atividade de solda caracteriza-se por ter a qualidade fortemente dependente do soldador que executa o processo. Isso do ponto de vista da empresa geradora é um problema, pois variações na qualidade em um mesmo rotor fazem com que o mesmo tenha que ser parado para manutenção baseado no pior reparo.

Essa dependência da habilidade do soldador torna difícil assegurar um padrão de qualidade de solda para a recuperação.

Um fator que também contribui para o aumento da complexidade do trabalho é a dificuldade do soldador em reproduzir o perfil geométrico que a pá possuía. Essa tarefa acaba resultando na deposição de material a mais, para que depois na etapa de esmerilhamento seja buscado um perfil próximo do desejado. Com isso o acabamento da última camada acaba sendo bastante oneroso em termos de tempo gasto, tanto para depositar material a mais quanto para retirá-lo depois através do esmerilhamento.

Cabe ressaltar que o esmerilhamento desse novo material depositado é intenso e demorado, pois agora a liga que será removida é muito mais resistente que a anterior e

também muito mais cara, em muitos casos sendo o quilo do material dez vezes o valor do material base.

Mesmo na tarefa de esmerilhamento é difícil garantir que a superfície adquira o perfil original, as empresas usam gabaritos para comparar a pá recuperada com o que era desejado, mas esta forma de verificação também deixa a desejar.

Sucessivas recuperações feitas desta forma geram uma deterioração progressiva na forma geométrica da pá da turbina. Isso acaba prejudicando o rendimento na geração de energia elétrica, fazendo que com uma mesma quantidade de água a geração de energia seja menor.

A forma irregular de deposição das camadas de solda normalmente gera tensões residuais na superfície gerada que resultam em trincas acelerando o processo de deterioração da área recuperada.

Outro problema referente a recuperação manual é relacionado a forma como o serviço de recuperação é contratado. Atualmente o serviço é contratado pelas geradoras de energia elétrica para ser executado por empreiteiras, que farão a recuperação através da solda manual.

Antes da turbina ser parada para a manutenção a empresa geradora de energia não tem como saber o quanto as pás do rotor estarão danificadas. Isso será visto quando inicia a manutenção. Quanto mais erodida estiverem as pás, mais material gastará a empreiteira e mais cara será a recuperação. Atualmente, as geradoras que contratam as empreiteiras, não possuem um sistema para, após aberta a turbina, medir o quanto de trabalho será feito. A geradora não tem como saber quanto de aço a empreiteira irá depositar para realizar o serviço. O que as geradoras fazem é pagar um valor fixo por quilo de aço depositado, de forma bruta.

Cabe aqui ressaltar as desvantagens deste método de contratação. Acaba sendo premiada a empreiteira menos eficiente. Por exemplo, suponhamos que o trabalho de recuperação necessite de 1000kg de aço depositado. Ocorre muitas vezes da recuperação (solda) ser mal sucedida, sendo necessário esmerilhar novamente a superfície e refazer a solda. Desta forma acaba sendo gasto mais aço, digamos por exemplo 1300kg. Conseqüentemente a empreiteira acaba ganhando mais por isto, pois receberá sobre 1300kg e não 1000kg. Não há uma diferenciação ou identificação sobre o aço que foi usado para retrabalho ou não. Quanto mais aço a empreiteira colocar a mais para depois ser esmerilhado e desperdiçado mais ela irá receber. Quanto pior for o trabalho da empreiteira, mais ela errar ou demorar no serviço

melhor para ela do ponto de vista econômico. Ela receberá uma remuneração maior do que se tivesse executado um serviço sem falhas. Ocorreram casos de má fé em que a empreiteira jogou rolos inteiros de arame de aço pelo canal da turbina com o intuito de enganar a geradora, e assim receber mais dinheiro pelo serviço.

Com a tecnologia hoje usada, é não é possível determinar *a priori* quanto aço será depositado. Não há hoje tecnologia para medir a cavitação quantitativamente e determinar quanto de aço será necessário na recuperação. Simplesmente são contados quantos rolos de arame entram na turbina para a recuperação e quantos saem.

Cabe ressaltar que a concessionária geradora acaba tendo de alocar funcionários seus para supervisionar o trabalho das empreiteiras, o que acaba gerando um custo extra ao trabalho de recuperação.

## **5.6 Características da Recuperação Robotizada**

Um dos fatores de grande influência na qualidade da solda é a capacidade do soldador de manter uma distância constante entre a ferramenta de solda e a peça que está sendo soldada. Neste caso, devido as condições adversas que citamos anteriormente o cansaço gerado no soldador vai gradualmente deteriorando a qualidade de sua solda. No caso da recuperação robotizada isso não ocorre. Uma vez que a cratera é medida e o robô começa a solda ele é capaz de seguir rigorosamente a trajetória determinada, esta característica faz com que a solda robotizada tenha uma uniformidade constante. Isso significa uma qualidade maior em relação as oscilações ocorridas na solda manual. O fato dessa qualidade ser constante faz com que toda a pá do rotor tenha uma qualidade uniforme, o que traz benefícios para a geradora de energia.

Pela forma como é fixado o robô, através do trilho flexível, o fato desse ter que manter-se em uma posição para soldar sobre cabeça não apresenta inconveniente, além de conseguir manter a distância entre a tocha de solda e pá sem problemas em posições que são difíceis para o soldador manual.

Com o calor gerado durante a solda a fadiga do soldador se acentua. O mesmo acaba fazendo várias pausas entre os cordão de solda que compõe uma camada. Para a tarefa de soldagem o fator de trabalho estimado é de 50%, isso significa para cada 10 horas que o soldador está na turbina somente 5 efetivamente ele está depositando solda. O fato do robô

soldar continuamente representa um ganho no tempo gasto na soldagem. Conforme os testes em campo realizados estima-se que este tempo caia cerca de 40% com a solda robotizada. Sendo que quanto maior a cratera a ser soldada maior será o ganho obtido com o robô.

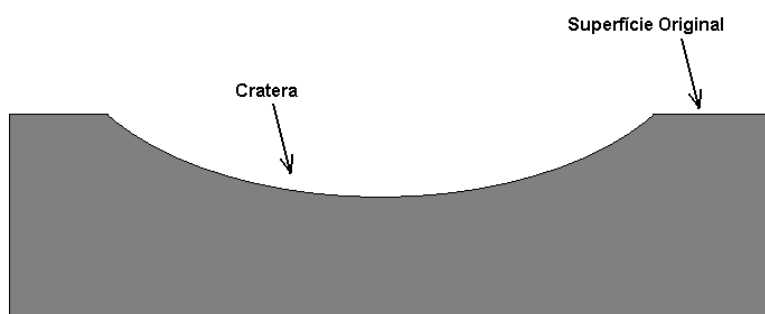
O soldador manual tem a vantagem de ter um tempo de preparação baixíssimo. Para ele basicamente é entrar na turbina, ligar a solda e começar a depositar o material. Já no caso do robô é diferente, como vimos ele precisa ser instalado, medir a cratera e só depois começar a soldar. Este tempo de preparação para o robô é relativamente longo se comparado com o do soldador, entretanto uma vez que começa a soldar ele vai até o fim sem interrupções.

Com o barateamento do robô, a meta é a utilização de quatro robôs operando simultaneamente em um mesmo rotor de forma alternada nas pás sob a supervisão de dois operadores. Desta forma, os operadores colocariam um robô para soldar, enquanto isso ocorre iriam preparando outro robô em outra pá e assim por diante.

Quanto ao perfil da pá, como a superfície do rotor foi medida pelo robô, o mesmo tem a capacidade de depositar camadas seguindo a geometria da pá, evitando assim a deposição excessiva de material. Isso causa uma redução de custos significativa na etapa de esmerilhamento final. O material consumido diminui e o tempo da recuperação também.

Outra tarefa que gera impacto significativo no consumo de material é a forma com é retirado material através de esmerilhamento e goivagem na cratera etapa de preparação da cratera para a solda. Na solda manual a cratera é preparada em forma de caixa, pois assim o processo de solda é facilitado para o soldador manual.

Na Figura 39 abaixo vemos a cratera antes de ser condicionada para a solda manual:



**Figura 39: Cratera antes de ser condicionada**

Na sequência, Figura 40, em vermelho vemos a quantidade de material que será retirado para o condicionamento da cratera a soldagem manual:



**Figura 40: Material a ser retirado**

Deste modo a cratera resultante para a solda manual fica sendo uma caixa, o que é mais simples para o soldador manual realizar o reparo. No caso da preparação para a solda feita com o robô isto não é necessário, sendo que é retirado o mínimo de material, para deixar a cratera lisa para a solda. Abaixo vemos a retirada de material na Figura 41:



**Figura 41: Material a ser retirado para solda robotizada**

Pelas figuras vemos que a quantidade de material que precisa ser retirada (em vermelho) para a solda com o robô é bem menor em comparação com o condicionamento para a solda manual. Isso significa tanto economia em termos de material a ser depositado quanto economia em relação ao tempo que será gasto na retirada de material e posterior preenchimento da cratera condicionada.

O fato da intervenção na pá do rotor ser menor no caso robotizado também ajuda na preservação do seu perfil original.

Conforme citamos anteriormente, um dos problemas da solda manual é a grande quantidade de material que é depositado para depois ser esmerilhado buscando-se o perfil original da pá do rotor. Este problema é reduzido em cerca de 90% com a solda robotizada.

Como o robô mediu a cratera a ser recuperada, através do software é calculado o número de camadas ideal de forma que o esmerilhamento seja mínimo e o perfil seja o mais próximo possível do ideal.

## **5.7 Deposição de Ligas Mais Duras**

Uma das vantagens da solda robotizada é a capacidade de com ela serem depositadas ligas como Cavitec, Hidroloy, Cavitaloy e Durum. Estas ligas especiais, apesar de custarem bem mais caro que ligas normais são bem mais resistentes a cavitação. Entretanto tais ligas são extremamente difíceis de serem depositadas manualmente. Com o processo de deposição manual a quantidade de metal a ser esmerilhado pode chegar a duas camadas de solda em certos pontos do reparo. Como estas ligas são bem mais duras que as convencionais o tempo gasto para esmerilhar a quantidade de sobre-material depositada pelo soldador manual é enorme. Estes três fatores juntos 1) tempo de esmerilhamento, 2) custo do material que é desperdiçado através do esmerilhamento e a 3) dificuldade de soldar manualmente estas ligas tornam o processo inviável de ser realizado manualmente.

Estes problemas são superados através da solda robotizada, pois o robô tem a capacidade de depositar estas ligas somente na última camada, baseado na medição da cratera, tornando o esmerilhamento necessário cerca de 90% menor que no caso manual.

Com a utilização deste tipo de material na recuperação das crateras, o tempo necessário para que o local cavite novamente passa de 4 anos para 6 anos. Esse aumento no tempo entre uma manutenção e outra do rotor traz grandes vantagens para a geradora de energia e para o sistema que agora pode contar com uma unidade geradora por mais tempo.

## **5.8 Redução do Retrabalho**

A redução de retrabalho através da solda robotizada deve-se ao fato do robô possuir uma qualidade uniforme, sem estar sujeito a grandes variações como é o caso da solda manual. Essa redução no retrabalho significa economia em termos de material utilizado e de tempo de reparo. Como citamos anteriormente a retirada do material depositado através do esmerilhamento é demorada, devido a resistência do novo material. A redução do retrabalho esperado é da ordem de 60%, entretanto cabe lembrar que conforme o robô for evoluindo e

adquirindo uma maior confiabilidade em termos de software e hardware a tendência é o retrabalho seguir diminuindo.

## 5.9 Medição do Volume Depositado

Conforme citado, um dos grandes problemas para a geradora de energia é a impossibilidade de quantificar quanto de aço será necessário para a recuperação da turbina.

No processo utilizando o Roboturb quando é feita a medição da cratera é gerada uma representação numérica da mesma. Desta forma é possível saber exatamente o volume de aço que precisará ser depositado para a recuperação da cratera.

Este passo é de grande importância para a empresa geradora contratante, pois permite que ela saiba de antemão quanto de aço será utilizado na recuperação, sem contar o aço que poderá ser desperdiçado através do retrabalho. Desta forma a geradora teria como contratar as empreiteiras ou o Roboturb para recuperar as turbinas remunerando-as por quilo de aço depositado, agora o que foi de fato depositado e não o bruto (levando em conta também o que foi desperdiçado através do retrabalho). Desta forma a empreiteira ou o Roboturb seriam incentivados a fazer um trabalho de alta qualidade, errando o mínimo possível, pois agora o prejuízo resultante do erro e o retrabalho seriam da empreiteira e não da geradora.

Cabe ainda ressaltar, que essa seria uma forma de quantificar com maior exatidão a cavitação ocorrida nas pás. Algo que, da forma como é feito hoje, é distorcido pelo percentual de retrabalho.

Outro impacto que poderia ser melhor quantificado através da medição é a quantidade de aço depositado a mais devido a forma como as empreiteiras realizam a preparação da cratera para a solda manual, o que acaba resultando em uma quantidade estimada de um terço de material a mais depositado. Na solda robotizada como mostramos anteriormente este desperdício é bem menor.

Sob o prisma econômico é possível apresentar um exercício que deixará claro os benefícios da robotização desta tarefa: estimativas dos custos dos processos de recuperação manual e robotizada são apresentadas no quadro abaixo (KAPP, 2000):

Item	Recuperação manual	Recuperação robotizada	Ganho
Duração (dias)	16	11	5



Mão-de-obra	US\$ 85.000	US\$ 33.000	US\$ 52.000
Consumíveis	US\$ 30.000	US\$ 22.500	US\$ 7.500
Outros custos	US\$ 28.000	US\$ 6.000	US\$ 22.000
Total	US\$ 143.000	US\$ 61.500	US\$ 81.500

**Tabela 12: Comparação de custos**

O demonstrativo apresentado acima não leva em conta que usando ligas mais resistentes a cavitação (Cavitec, Duron, Hidroloy, etc) o tempo que a turbina pode funcionar sem manutenção aumenta, como foi dito anteriormente, de 4 para 6 anos. Para termos os ganhos levando em conta este benefício deveríamos multiplicar a coluna pelo fator de 1,5 para termos a real quantificação para a geradora de energia.

### 5.10 Lucro Cessante

A esses ganhos também devem ser adicionados os resultantes da redução do número de dias em que a máquina estará parada, onde pode ser feita uma análise do lucro cessante resultante da unidade geradora.

O cálculo exato do lucro cessante dependeria de dados específicos da unidade geradora, de forma que este irá variar de unidade para unidade. Inicialmente podemos estimar a quantidade de energia que deixará de ser gerada. Tomando uma unidade geradora típica de grande porte, com por exemplo, 300 MWatt/hora de potência instalada, isso significa, a cada hora a unidade geradora tem a capacidade de gerar até 300 MWatts. Durante os 16 dias (384 horas) que unidade pára em manutenção teríamos um total de 115.200 MWatts que deixariam de ser gerados usando a recuperação de modo manual. Na tabela abaixo podemos comparar a quantidade de MWatts que deixarão de ser gerados com cada um dos processos, o ganho do processo robotizado sem levar em conta ligas mais resistentes e o ganho levando em conta ligas mais resistentes (fator de multiplicação de 1,5):

	Dias	Horas	MWatts
Manual	16	384	115.200
Robotizado	11	264	79.200
Ganho sem ligas	5	120	36.000
Ganho com ligas	7,5	180	54.000

**Tabela 13: Ganho levando em conta ligas mais resistentes**

No cálculo acima, levando em conta uma potência instalada de 300 MWatts.

O uso do robô para a recuperação, por diminuir o tempo gasto no reparo e aumentar o tempo que a turbina pode gerar energia sem necessitar de um novo reparo, faz com que as unidades geradoras sejam melhor aproveitadas. Esta vantagem adquire maior importância em tempos de falta de energia elétrica onde é necessário que algumas usinas gerem o máximo de energia possível, para compensar a falta de outras devido a estiagem.

No caso da venda de energia excedente pelas usinas ao antigo MAE (Mercado Atacadista de Energia), que agora chama-se CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – o valor pago em reais pelo MWatt hora varia conforme a carência ou não de energia pelo sistema. Em de junho de 2001, quando ocorria racionamento de energia elétrica os preços pagos pela CCEE eram de R\$ 648,00 por MWatt hora, já em dezembro de 2004 quando havia sobra de energia elétrica o preço era de R\$ 18,59. Como vemos o lucro cessante varia conforme a disponibilidade de energia no sistema. Na Tabela 14 abaixo, utilizando os dados da Tabela 13, vemos como o lucro da concessionária geradora pode variar em função destes dois preços:

	<b>Dias</b>	<b>Horas</b>	<b>MWatts</b>	<b>Racionamento de Energia</b>	<b>Sobra de Energia</b>
<b>Manual</b>	16	384	115200	R\$ 74.649.600,00	R\$ 2.141.568,00
<b>Robotizado</b>	11	264	79200	R\$ 51.321.600,00	R\$ 1.472.328,00
<b>Ganho sem ligas</b>	5	120	36000	R\$ 23.328.000,00	R\$ 669.240,00
<b>Ganho com ligas</b>	7,5	180	54000	R\$ 34.992.000,00	R\$ 1.003.860,00

**Tabela 14: Lucro cessante**

Cabe ressaltar aqui que os valores do lucro cessante não podem ser calculados somente com base nestes dados, os valores acima são usados aqui somente para dar uma idéia da diferença de importância que pode ter uma unidade geradora parada para manutenção em um período de racionamento de energia elétrica.

Fazendo uma análise das turbinas onde seria economicamente viável a utilização do robô, temos de um universo de cerca de 190 turbinas hidráulicas de grande porte instaladas no país, cerca de 55 que necessitam de reparo para cavitação com um tempo médio de 4 anos entre manutenções (KAPP, 2000).

### **5.11 Inovação de Processo e Inovação de Produto**

Analisando o desenvolvimento tecnológico sob o ponto de vista do setor de geração de energia elétrica, que foi o cliente e co-financiador do projeto, podemos enquadrar os avanços como uma inovação do processo.

Na substituição da solda manual pela solda realizada pelo robô temos uma inovação do processo. Isso porque sob este prisma é esperado uma redução de custos no processo de recuperação da turbina pela empresa geradora de energia elétrica, conforme demonstramos acima. Essa redução de custo, ocorre de várias formas. Há 1) uma redução do consumo de metal depositado, 2) menos pessoas necessárias no processo, 3) aumento no tempo entre paradas da turbina para manutenção, ocasionado pela melhor qualidade da solda depositada, 4) diminuição no tempo necessário para recuperação de uma turbina, 5) aumento da vida útil do rotor devido a uma recuperação de melhor qualidade.

Essas vantagens esperadas pela solda robotizada levam a uma maior eficiência do setor de geração de energia elétrica, que pode tanto beneficiar-se de uma maior disponibilidade das máquinas para geração, quanto de um menor custo com as manutenções.

Podemos considerar o fato do robô ser capaz de medir o quanto de fato a turbina cavitou, a forma possível das empresas geradoras contratar a recuperação pagando pelo quilo de material efetivamente depositado, sem acabar pagando pelo retrabalho e premiando a ineficiência da empreiteira. Além disso o uso de ligas especiais que antes não eram economicamente viáveis e a utilização de um processo de solda como o plasma também caracterizam-se como uma inovação de processo.

### **5.12 Iniciativa Privada – Análise da Conjuntura Brasileira**

Inicialmente podemos destacar as dificuldades relativas a viabilização de um projeto como este no Brasil.

Do ponto de vista da iniciativa privada este projeto provavelmente não teria sido possível por três motivos: 1) investimento inicial muito alto em salários, 2) infra-estrutura e 3) desenvolvimento de tecnologias necessárias.

Quanto ao investimento em salários, como vimos o projeto teve uma duração de 6 anos, com uma equipe de cerca de 50 pessoas trabalhando em P&D. Poucas empresas brasileiras teriam condições de arcar com um custo tão alto, por tanto tempo. Além disso, os

riscos de projeto eram grandes, por tratar-se de pesquisa, os resultados teriam um grau de incerteza que para uma empresa privada poderiam ser muito grandes em comparação ao investimento necessário.

Outros gastos que seriam substanciais em relação a um investimento privado seriam relativos a infra-estrutura necessária. Uma empresa teria que investir em espaço físico, computadores, máquinas específicas para cada um dos processos como a metrologia e a soldagem.

Por fim, talvez o maior entrave para uma empresa seriam as barreiras tecnológicas. Dificilmente existiria no Brasil uma empresa com experiência e competência em soldagem, metrologia, robótica, além do projeto e construção mecânica do robô.

### **5.13 Forma Como Foi Implementado: Parceria UFSC/LACTEC/Financiamento Estatal**

Na forma como foi implementado, o projeto contou com muitas vantagens em comparação com um investimento privado.

Inicialmente a parceria entre UFSC e LACTEC trouxe vantagens para ambos os lados, do lado da UFSC esta contribuiu com o conhecimento acumulado dos diferentes laboratórios nas áreas de soldagem, software, robótica e metrologia. O LACTEC por sua vez já possuía tradição no desenvolvimento de projetos junto ao setor elétrico, por ser oriundo do antigo instituto de pesquisas da COPEL.

Quanto aos custos com infra-estrutura estes foram reduzidos, pois os laboratórios da UFSC já contavam com uma aparelhagem própria de suas áreas de pesquisa, assim como espaço físico e computadores.

Quanto aos salários da equipe, um dos pontos fortes do projeto foi a utilização de mestrandos e doutorandos para a superação de barreiras tecnológicas do projeto. Tal estratégia apresentou vantagens para ambos os lados. Do ponto de vista do engenheiro que fazia uma pós-graduação, esse teve a oportunidade de realizar um trabalho prático, aplicado em um projeto de tecnologia de ponta. Dessa forma, esse conseguia unir a experiência profissional de trabalhar junto a indústria com o embasamento teórico proporcionado pelo meio acadêmico.

Do ponto de vista do projeto, o custo destes engenheiros era relativamente baixo em relação a seu valor de mercado. Isso ocorria pois a motivação de realizar uma pós-graduação compensava o salário abaixo do mercado.

### **5.14 Problemas Desse Tipo de Estrutura**

Apesar de trazer vantagens, essa estrutura de trabalho trouxe também desafios e desvantagens.

Sob o ponto de vista financeiro, o projeto sofreu, e ainda sofre, com as incertezas devido a continuidade do mesmo. Uma vez esgotado o prazo de cada financiamento através do programa de P&D, era necessário a busca de recursos para manter a equipe. Caso não fosse possível a obtenção de novos recursos e a equipe fosse dispersada o projeto provavelmente seria abandonado, ou retrocederia muito. Os integrantes seriam absorvidos pelo mercado de trabalho e levariam consigo parte do conhecimento.

Apesar dos relatórios gerados que documentam o projeto serem extensos, esses não são capazes de traduzir o conhecimento envolvido e requerido pelo projeto. Por este ter sido concebido do zero e ter evoluído para algo inédito e sem precedentes no Brasil, na forma de um protótipo que ainda está em evolução, a documentação do mesmo torna-se rapidamente desatualizada.

Outro fator que gerou uma verticalização de conhecimento foi a necessidade de conhecimentos teóricos aprofundados na área afim para a compreensão do que foi documentado. Isso por vezes tornava difícil a substituição de um integrante de uma determinada área, por outro de outra área. Como, por exemplo, um integrante da soldagem, por um da metrologia.

A concentração de conhecimento segmentou-se de tal forma que a substituição de algumas pessoas na equipe pode ser absorvida, mas a substituição de toda a equipe ou a maioria dela de uma única vez resultaria na inviabilidade de se continuar o projeto.

Essa concentração de conhecimento deve-se também a complexidade do projeto como um todo. Pelo fato de atuar em profundidade em áreas tão díspares como solda, metrologia, software, mecânica e robótica, houve uma tendência a cada área de competência trabalhar de uma forma isolada, especialmente nas etapas iniciais de projeto. Tal característica acabou

gerando no decorrer do desenvolvimento uma falta de visibilidade por parte dos integrantes do projeto como um todo.

A tendência dos pesquisadores envolvidos em trabalharem focados em sua área acabou resultando em problemas de integração das partes e, conforme o projeto foi evoluindo, uma ausência de definição de responsabilidades.

Outro problema observado foi o fato de conforme foi-se passando para a etapa de integração, algumas áreas de competência, apesar de continuarem necessárias, tiveram sua carga de trabalho drasticamente reduzida. Tal fato, do ponto de vista de aproveitamento de recursos foi um problema.

A concepção da equipe de forma multidisciplinar, ao mesmo tempo que proporcionou a realização de um projeto tão ambicioso, foi também uma dificuldade extra no que diz respeito ao ponto de vista gerencial.

Os problemas gerenciais e administrativos foram também em parte agravados pelo fato de ambas as instituições que trabalhavam em conjunto, a UFSC e o LACTEC, estarem situadas em cidades diferentes. O gerente do projeto, permanecia sediado em Curitiba, Paraná, enquanto a maioria da equipe de desenvolvimento situava-se na UFSC em Florianópolis, Santa Catarina, a 300 quilômetros de distância.

Essa característica administrativa foi se tornando um problema maior a medida que o projeto avançava na parte de integração e as responsabilidades tornavam-se menos definidas.

## **5.15 Estratégia de Nicho de Mercado**

A estratégia utilizada pelo projeto ROBOTURB assemelha-se à estratégia utilizada pelas empresas de automação no Brasil (BASTOS, 1998, pág. 164). Tal estratégia consiste em ocupar espaços de mercado que representem um afastamento da produção padronizada. Como vimos anteriormente em uma economia aberta como a brasileira, seria muito difícil competir com robôs industriais produzidos em grande escala por firmas que ocupam posições de liderança no mercado internacional.

O projeto buscou assim desenvolver um robô com características especiais voltadas a aplicação em questão. A estrutura do projeto, ligado à universidade, tinha mais chances de desenvolver algo novo, personalizado, uma invenção, do que desenvolver algo mais barato que um robô já existente no mercado.

## 5.16 Desenvolvimento Tecnológico

Em função do projeto ROBOTURB, uma linha de pesquisa e desenvolvimento formada por uma equipe multidisciplinar foi mantida por um longo período. Esse investimento resultou na sedimentação da competência no desenvolvimento de robôs no Brasil. O fato do grupo ter pesquisado, desenvolvido, construído e aplicado na indústria tecnologia ligada à robótica torna o desenvolvimento tecnológico aqui atingido único, pois apesar de existirem outras universidades e centros de pesquisas que trabalham na linha da robótica no Brasil, nunca antes alguma equipe realizou um sistema semelhante a esse.

Ao avaliarmos o desenvolvimento tecnológico relacionado especificamente ao robô, vemos que o mesmo teve de superar diversas barreiras tecnológicas, em relação aos robôs industriais convencionais.

O robô desenvolvido acabou resultando em uma complexidade maior que um robô convencional. Tal complexidade foi resultado das especificidades da aplicação a qual ele se destinava. Especificidades essas que impediam o uso de robôs industriais convencionais.

O fato do robô realizar a recuperação no rotor da turbina era um fator que limitava o uso de robôs convencionais, pois o robô não poderia ser fixo, como a maioria dos robôs industriais, uma vez que após a recuperação o local deveria ser liberado para que a água passasse pelo local. Essa restrição implicava no robô ser portátil e provido de um dispositivo para fixá-lo à pá da turbina do rotor. O problema da fixação foi resolvido usando o trilho flexível e a portabilidade resultou em uma restrição quanto ao tamanho e peso do robô.

O fato do robô possuir um trilho flexível e sete graus de liberdade implicou no desenvolvimento de uma cinemática muito mais complexa que a de robôs convencionais, que utilizam geralmente até seis graus de liberdade.

Com esses desafios tecnológicos superados pelo projeto, o resultado foi um robô com uma complexidade maior que a de robôs industriais convencionais. Com esse aprendizado a equipe acabou dominando também a tecnologia de robôs convencionais, o que possibilita agora o desenvolvimento de aplicações mais simples com segurança que antes não havia.

Assim como o desenvolvimento do robô, o desenvolvimento dos efetadores finais por ele utilizados também gerou resultados em termos de desenvolvimento tecnológico.

O sensor laser utilizado para a medição da cratera erodida inicialmente seria comprado. O preço do mesmo estava na faixa de US\$ 15.000,00. Além do custo ser alto, as dimensões do

mesmo eram incompatíveis com ambiente restrito da turbina. Dessa forma, a única opção foi o desenvolvimento de um sensor laser pela equipe de metrologia, que custou cerca de US\$ 2.000,00 e nas dimensões necessárias a aplicação.

O conjunto do robô, sensor laser e software de medição é por si só um produto, uma máquina de medir coordenadas. Com esse conjunto é possível digitalizar superfícies, realizar a inspeção de superfícies, além de outras aplicações.

Na soldagem, o processo desenvolvido para a aplicação, o plasma pulsado com alimentação automática de arame, também inédito no Brasil com uma série de possíveis outras aplicações. Esse processo obteve um acabamento superior aos processos convencionais (MIG/MAG) utilizados na recuperação manual.

Na área de software podemos destacar o desenvolvimento de trajetórias para a medição e a soldagem, o aplicativo para a captura manual de pontos da medição, a construção e implementação de um controle remoto para o robô.

Na parte mecânica, a concepção da estrutura do robô, o projeto e a construção do mesmo foram importantes avanços no desenvolvimento de robótica.

## **5.17 Outras Tecnologias Resultantes**

As tecnologias pesquisadas, desenvolvidas e dominadas pela linha de pesquisa ao longo deste projeto vislumbram uma gama de outras possíveis aplicações, que podem ser desenvolvidas no Brasil, sem que seja necessário importar tecnologia ou pagar royalties.

Com algumas modificações, o núcleo básico do sistema desenvolvido poderá ser estendido para efetuar soldagens em ambientes confinados, com grande potencial de aplicação nos setores de construção mecânica (estaleiros, plataformas de petróleo, gasodutos, plantas hidroelétricas e termelétricas). Deste destaca-se a construção naval, setor este que atualmente encontra-se em franca expansão; sendo responsável hoje pelo maior percentual brasileiro de geração de novos empregos na indústria brasileira (ISTOÉ, 2004).

Ao longo dos seis anos do projeto Roboturb, diversos projetos tornaram-se viáveis ou tiveram sua importância descoberta devido aos avanços alcançados pela equipe. Dentre tais possíveis projetos que seriam derivações do projeto principal destacamos alguns com imediata aplicação prática:

### **a) Sistemas de medição referenciada de geometria de pás**



Este sistema foi pesquisado com um dos objetivos da etapa financiada por FURNAS, foi também desenvolvida a metodologia de medição, e um protótipo de laboratório foi construído. Este sistema visava além da medição de formas livres no espaço, também a medição da superfície de sucção da pá, referenciada ao sistema de coordenadas no rotor da turbina, permitindo comparação de formas de pás, o que permitirá no futuro uma correção de perfis hidráulicos. Os resultados obtidos em laboratório indicam a viabilidade de aplicação do sistema, o que justificaria um projeto para a construção de um protótipo para aplicação em campo.

**b) Sistema de quantificação de volume efetivamente depositado**

O desenvolvimento deste sistema teria por objetivo propor uma nova forma de precificação para o reparo de cavitação, quebrando o paradigma de pagamento por quilograma de material depositado. A diferença prática entre o total de material depositado, e o efetivamente depositado é que conforme a qualificação do procedimento, um volume excessivo é retirado na preparação de superfícies e o sobre material excessivo é depositado antes do acabamento. Esse sistema tem uma importância grande na viabilização prática de novas tecnologias, pois obriga os reparadores de cavitação a investirem em técnicas de melhor qualidade, pois na condição atual eles ganham com a ineficiência de seu próprio processo. Quem perde com a má qualidade é a geradora de energia, que além de pagar mais pelo reparo, ainda tem um rotor mais comprometido por tensões residuais, devido ao maior aporte térmico na estrutura do rotor.

**c) Sistema de medição para assistência ao acabamento**

O mesmo sistema desenvolvido para a medição referenciada de pás de turbina tem recursos para a orientação do processo de acabamento, indicando através de mapas projetados diretamente na superfície da pá, quais regiões e quanto de material deve ser removido. O próprio robô, através do seu sistema de medição tem condições de analisar o sobre material e indicar através de uma ferramenta de marcação, quais regiões e qual a profundidade de desbaste, que devem ser trabalhadas no processo de acabamento.

**d) Preparação de superfícies para soldagem robotizada, por goivagem a plasma robotizada**

Com o desenvolvimento de uma ferramenta específica para aplicação com o robô, é possível a preparação da superfície cavitada para soldagem, através da goivagem a plasma. A tecnologia desenvolvida no projeto, tanto de medição, quanto de soldagem, permite que sejam

controlados passes concêntricos de remoção de material por plasma, de maneira que se obtém ao final do processo, uma superfície suave para deposição pelo processo de plasma alimentado robotizado. Esta superfície não só é favorável ao processo robotizado, como também minimiza o volume a ser depositado, favorecendo a vida do rotor, pelo menor aporte térmico, menores deformações e conseqüentemente menor tensionamento, evitando assim danos metalúrgicos e trincas. Isto também permite a automação da preparação de superfícies, otimizando ainda mais a aplicação do robô, pois o tempo de montagem e configuração será aproveitado para os dois processos.

**e) Melhoria metalúrgica das superfícies por re-fusão a plasma robotizado**

Um dos resultados obtidos pela equipe da área de metalurgia do projeto foi o melhora da resistência à cavitação pelo refino de grão, obtida pela re-fusão da superfície da camada depositada. Isto só é viável para a aplicação robotizada, em função de que esta camada refundida não é muito espessa, e somente com sobre-material mínimo, obtido apenas com o robô, é que se consegue manter estas propriedades. Também a re-fusão suaviza a superfície dos cordões de solda, facilitando o acabamento, reduzindo assim o trabalho manual de acabamento através do esmerilhamento.

**f) Sistema de soldagem robotizado por plasma alimentado a pó**

Durante o desenvolvimento do projeto Roboturb foi proposta uma linha de pesquisa na soldagem por plasma alimentado a pó. Nesta ocasião pouco se tinha feito ainda e o estudo estava por começar com os testes na posição normal de trabalho. Desde essa época o desenvolvimento do processo continuou, ainda que em ritmo lento, com propósitos acadêmicos e com financiamento próprio do LABSOLDA na UFSC, mas com objetivo focado no futuro da recuperação de turbinas. Hoje já se consegue soldar com o processo de solda a plasma alimentado por pó na posição sobre-cabeça, com excelentes resultados do ponto de vista de qualidade, com baixa solubilização do material base. Portanto também é uma técnica muito promissora, que aliada a possibilidade da manipulação robotizada, torna-se viável e pode apresentar benefícios para a recuperação de turbinas.

**g) Desenvolvimento de novos materiais para recuperação de turbinas**

O desenvolvimento dos processo de plasma alimentado (por arame ou pó), possibilita o desenvolvimento de ligas específicas para aplicações especiais, pelo fato do plasma não usar o material de adição como eletrodo, pode-se dispensar elementos de liga que estabilizam o arco elétrico, e ainda pode-se ter controle de energia e material de maneira desassociada. Assim

pode-se concentrar o desenvolvimento apenas nas características dos materiais. Já iniciou-se o desenvolvimento de uma liga nacional através da empresa DURUM, visando uma liga com custo inferior aos das ligas importadas.

#### **h) Sistema robotizado para inspeção de linhas de transmissão**

Com a experiência acumulada tanto no desenvolvimento de hardware e software de robótica pela equipe do projeto Roboturb outro projeto que seria de imediato interesse do setor elétrico seria o de concepção e construção de um robô para a inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica.

#### **i) Sistema robotizado para inspeção de estruturas submersas**

O conhecimento exigido para a utilização do trilho flexível em robótica no Roboturb gerou um avanço da equipe nacional na área de navegação inercial, portanto capacitando o desenvolvimento de robôs autônomos semi-livres, que são adequados para acesso em ambientes restritos como o submerso. Esse novo sistema teria como objetivo localizar defeitos estruturais, em barragens, como fissuras, rompimentos de grades, ou mesmo presença de obstruções, com mapeamento preciso de sua posição, sem recorrer a dispendiosas tecnologias importadas, que nos são fechadas. Poderia mesmo ser usado para a coleta de amostras de concreto para a análise, com a utilização de uma ferramenta própria.

Esses seriam alguns dos projetos ligados a tecnologia que foram diretamente gerados pelo desenvolvimento tecnológico ligado ao Roboturb.

### **5.18 Impacto Social**

Podemos dividir os impactos sociais em quatro áreas. Na primeira temos a formação da equipe de desenvolvimento ligado à robótica. Em um segundo momento teríamos empregos ligados à comercialização e produção do robô que foi desenvolvido. Em terceiro teríamos a formação de técnicos aptos a operar o robô nas empresas responsáveis por realizar a recuperação robotizada. Por último teríamos a demissão de soldadores e esmerilhadores da equipe de recuperação manual.

Destas quatro áreas citadas apenas uma concretizou-se até o presente momento, a criação da equipe de robótica. Apesar do robô já ter ido a campo realizar recuperações, estas foram experimentais e não há hoje uma equipe de recuperação de turbinas de forma robotizada para concorrer com as empreiteiras. Logo ainda não ocorreram nem a formação de técnicos ligados a operação do robô, nem a comercialização do mesmo como um produto, tão pouco

demissões de pessoas ligadas a recuperação manual. Entretanto buscaremos analisar estes impactos.

Talvez um dos maiores benefícios do projeto Roboturb, a nível nacional, foi a criação de um equipe multidisciplinar com a capacidade de pesquisar, desenvolver, construir e aplicar a tecnologia de robótica. Já existem várias universidades e centros de pesquisa que têm a linha de robótica no Brasil, mas nunca antes uma equipe foi tão verticalizada nessa tecnologia no Brasil ou atingiu resultados práticos como os obtidos no Roboturb.

Dentre os cerca de 50 integrantes da equipe do projeto Roboturb, foram produzidas seis dissertações de mestrado e seis teses de doutorado, além de trabalhos em congressos nacionais e internacionais e publicações em revistas nacionais e internacionais. Além da produção de pós-graduação, foram implementadas cerca de 25 bolsas de iniciação científica através do projeto.

Cabe aqui ressaltar a importância da produção científica, por ela ser focada justamente no ponto em que é mais falho a pesquisa no Brasil, a pesquisa com aplicação na indústria.

A formação de capital humano não se restringe somente a pesquisa, mas principalmente ao fato dos estudantes de pós-graduação terem realizado um trabalho com aplicação prática direta e que representavam barreiras tecnológicas no campo da robótica, solda e metrologia.

Quanto às mudanças em relação a equipe que realizará as recuperações de turbinas, cabe inicialmente destacar a insalubridade ligada a tarefa. Como vimos na descrição do processo de recuperação manual, os soldadores estão sujeitos a trabalharem em um ambiente de difícil acesso, em posturas de trabalho desconfortáveis e expostos aos riscos inerentes a atividade de solda. Tanto a posição de trabalho, quanto o calor proveniente da solda e o ruído natural do local e decorrente do esmerilhamento tornam a atividade extremamente penosa para o ser humano.

Quanto ao número de pessoas que compõe uma equipe de recuperação, geralmente elas são divididas em dois ou três turnos de trabalho e são compostas por:

- Um supervisor de turno
- Cinco soldadores
- Quatro esmerilhadores

O que totaliza cerca de dez pessoas por turno. Cabe ressaltar que o supervisor de turno não é da empreiteira, mas da empresa geradora de energia. Esse tem como função supervisionar o trabalho, para evitar desperdícios propositais.

Utilizando a recuperação robotizada a equipe para cada turno seria composta por:

- Dois técnicos operadores do robô
- Quatro robôs
- Dois esmerilhadores

Como a forma de contratação seria por material efetivamente depositado o papel do supervisor de turno perderia função. Logo, para o cálculo do impacto do uso do robô teríamos por turno cinco soldadores demitidos, dois esmerilhadores e um supervisor de turno. Seriam contratados dois técnicos de operação do robô. Logo, com o uso de quatro robôs seriam destruídos seis postos de trabalho. Como os mesmos quatro robôs são utilizados nos três turnos eles estariam substituindo 18 pessoas da equipe de recuperação manual. Isso resultaria em pouco mais de quatro pessoas substituídas por robô.

Apesar da equipe de desenvolvimento do robô ter sido formada por cerca de 50 pessoas, estes novos postos não representam empregos contínuos como o dos integrantes da empresa de manutenção que seriam demitidos pelo uso do robô, pois os 50 postos fazem parte da etapa de desenvolvimento, que migrará para outro projeto de robótica quando os robôs estiverem entregues. O cálculo exato deveria levar em conta a pessoa que ficaria responsável pela manutenção dos robôs, entretanto quantos postos seriam criados para esta função é difícil de estimar, se é que um posto seria justificável para estes quatro robôs somente.

Sobre o perfil educacional dos postos criados e destruídos pelo uso do robô, podemos indicar que ele segue a tendência mundial da eliminação de postos com menor escolaridade e beneficiam pessoas com maior escolaridade. No caso dos integrantes do projeto, sua maioria era composta por engenheiros ou estudantes de engenharia, além de vários estudantes de pós-graduação e professores universitários.

Quanto aos técnicos operadores dos robôs, o perfil desejado incluiria conhecimentos de soldagem e familiaridade com o uso de computadores. Os soldadores poderiam ser treinados, especialmente os que apresentassem bons conhecimentos de informática, entretanto isso não

seria muito provável. Novamente aqui, a transferência de empregos favoreceria os que possuíssem maior capacidade de aprendizado ou mais tempo de escolaridade.

Outra possibilidade para os operadores dos robôs seriam técnicos em eletrônica que fossem treinados em soldagem. Dessa forma eles estariam aptos a resolverem eventuais problemas relativos a manutenção dos robôs.

Em ambos os casos, dos técnicos em eletrônica e dos soldadores, vemos que além da educação, a capacidade de atuar em áreas distintas, como a solda, a eletrônica e a informática são requisitos na transferência de empregos gerada pelo uso de robôs. Assim como nas fábricas, nesse caso específico, os trabalhadores que têm uma visão mais global do processo são beneficiados em relação a realocação de empregos.

Sob o ponto de vista de insalubridade, vemos uma melhora significativa entre o posto de soldador e de operador do robô. O fato do operador do robô não realizar a solda, e portanto estar a uma relativa distância da mesma e não ter de se preocupar em manter uma distância constante entre tocha e peça, acaba tornando sua tarefa menos dependente de sua habilidade pessoal e diminuindo o nível de stress relacionado a tarefa. Apesar do operador ter de assumir posições desconfortáveis para instalar o robô, o mesmo não precisa, como é o caso do soldador, permanecer nela por longos períodos. Analisando estes aspectos vemos que, comparando o soldador com o operador do robô, este último tem uma rotina de trabalho menos penosa e insalubre que o primeiro.

## 6 Conclusão

O trabalho buscou ressaltar as diferenças e similaridades do impacto do uso da robótica no Brasil e em outros países do mundo. O estudo de caso utilizado, o projeto Roboturb, teve suas vantagens e desvantagens. Se por um lado o estudo de caso pode mostrar o impacto do projeto, construção e desenvolvimento de um robô nacional, por outro como o robô é focado em um nicho de mercado, seus impactos em números absolutos são pequenos. Ao mesmo tempo que o estudo de caso pode mostrar as dificuldades da etapa de desenvolvimento do robô, da sua concepção a construção e utilização do protótipo, pelo fato do mesmo ainda não ser utilizado como um produto sedimentado impossibilitou estatísticas relativas a impactos sedimentados.

No trabalho foi constatada a defasagem da indústria brasileira no uso de novas tecnologias, desde equipamentos ligados a automação como técnicas mais simples ligadas ao taylorismo em pequenas empresas.

Buscamos mostrar como o contexto brasileiro dificulta o nascimento de uma indústria ligada a robótica. Inicialmente o mercado interno para o consumo de robôs é restrito, principalmente pelo baixo custo da mão-de-obra não especializada no Brasil. Somado a isso, o país não tem tradição na fabricação de robôs e não domina a tecnologia da área. Em países como Alemanha, EUA, Japão e Suécia, ao contrário daqui, há uma massa crítica de profissionais com experiência na indústria de robótica.

Apesar das dificuldades apontadas para o uso de robôs no Brasil, com o barateamento desses ao longo dos últimos anos e a busca de empresas nacionais por mercados externos, vêm levando a um lento e gradual uso de robôs no Brasil. Empresas nacionais têm preferido o uso de robôs pelas mesmas razões que nos demais países, entretanto um fator que vem assumindo maior relevância é dificuldade das leis brasileiras em relação a contratação e demissão de funcionários. Empresários têm preferido soluções automatizadas, pois assim conseguem uma produção flexível em relação a demanda e uma diminuição no custo fixo com pessoal.

Entretanto o impacto do uso de robôs aqui é um tanto diferente de outros países que também produzem robôs. Lá, quando uma empresa decide comprar um robô e demitir funcionários, ocorre uma transferência de capital da força de trabalho que foi demitida para a empresa que comprou o robô e para a empresa que vendeu o robô. A primeira acaba obtendo

uma vantagem competitiva no mercado, e a segunda um aumento de vendas de robôs e conseqüente aumento de faturamento. Com isso novas vagas acabam sendo criadas, principalmente na empresa que fabrica e vende os robôs.

A diferença no Brasil é o fato de não possuímos empresas nacionais que fabriquem robôs. Dessa forma o país acaba ficando com o pior caso, demitindo empregados brasileiros e proporcionando o desenvolvimento de empresas estrangeiras fabricantes de robôs.

Por outro lado, vendo o ponto de vista da empresa que compra o robô, vemos que não há outra alternativa. A empresa que decidir não usar uma solução tecnológica mais eficiente estará em desvantagem competitiva em relação as suas concorrentes. A decisão de uma empresa em substituir trabalhadores por uma solução tecnológica, como um robô, não é uma decisão tomada sobre aspectos sociais, é uma evolução natural no processo de produção. Nessa evolução permanecerão no mercado as empresas que identificarem e adotarem processos mais eficientes, como vem acontecendo ao longo da história.

Ocorre, é verdade, casos onde a automatização de uma tarefa pode parecer a melhor opção para o empresário, mas no futuro revelar-se algo muito aquém do desejado, fazendo a empresa regredir no lugar de avançar em sua participação no mercado. Ou mesmo algo que era o mais vantajoso em um período mudar junto com a conjuntura do país, como ocorre quando temos grandes variações cambiais que acabam alterando de forma drástica a viabilidade em investimentos deste tipo.

Em relação às empresas ligadas à automação ou a possíveis empresas nacionais ligadas a robótica vemos que a estratégia de nicho de mercado acaba sendo uma das poucas opções com viabilidade econômica. A indústria nacional tem poucas chances de competir com a estrangeira, principalmente pelo fato da segunda já possuir produtos com o investimento tecnológico amortizado. Uma empresa nacional teria que investir na pesquisa, produção e comercialização, enquanto seu concorrente internacional só investiria na venda de um produto que já está desenvolvido e consolidado.

A vantagem competitiva da indústria brasileira ligada a automação é a sua proximidade com o cliente. Dessa forma é possível o desenvolvimento de soluções sob medida, para aplicações específicas que não se enquadram na produção em larga escala. Essa produção para nicho de mercado aliada a proximidade para a manutenção é o ponto em que se apóiam as atuais empresas ligadas a automação, visto que uma vez implantada uma solução de produção



dependente de uma tecnologia, a empresa que substituiu a mão-de-obra por uma máquina torna-se vulnerável a qualquer problema que possa ocorrer nessa máquina recém adquirida. Tal ponto faz com que uma prestação de manutenção que esteja próxima seja uma vantagem competitiva para a empresa que vende a solução.

Quanto ao projeto Roboturb, por ser um caso de desenvolvimento nacional de tecnologia, vemos que os obstáculos enfrentados neste projeto são similares aos de desenvolvimento de tecnologia no Brasil.

Temos no projeto Roboturb, como em outros casos de desenvolvimento de soluções tecnológicas, três etapas. A primeira é a de invenção, a definição de como seria resolvido o problema, o projeto, o esboço. A segunda é a fase de desenvolvimento, ou seja, criar um protótipo, uma máquina, que funcione, superar os desafios do projeto na prática. A terceira seria a produção. Uma vez o protótipo aperfeiçoado, adaptado ao consumidor final, corrigidos os pequenos problemas inerentes a parte prática, fechando na definição de um tipo, um produto que possa ser reproduzido e comercializável, ou seja, transformá-lo em uma “caixa-preta”.

Entretanto, cada uma dessas fases descritas, a invenção, o desenvolvimento e a produção, envolvem aportes de recursos financeiros. Para que os engenheiros possam desenvolver algo é preciso recursos, e para isso é preciso o papel de uma pessoa que busque tais recursos. Uma visão empresarial da ciência (mistura de política, com negociação de contratos, relações públicas) é necessária para que os engenheiros possam continuar no laboratório desenvolvendo o futuro produto.

Na primeira etapa do projeto Roboturb havia muita pesquisa a ser feita. Como citamos o risco no desenvolvimento era tal que o projeto dificilmente poderia ser viabilizado pela iniciativa privada. Com o avanço do desenvolvimento e a consolidação do robô funcionando na forma de protótipo as necessidades do projeto mudaram, assim como a de muitas pesquisas desenvolvidas pela universidade. O que antes requeria um ambiente protegido, acadêmico para se desenvolver agora pede uma visão mais profissional, comercial, mais próxima da iniciativa privada.

O robô construído tem um mercado no setor de geração de energia elétrica, mas com o que foi feito abrem-se ainda mais portas em países onde a mão-de-obra é mais cara, e

conseqüentemente o robô construído mais barato. Entretanto um dos desafios do projeto é como tornar comercial esta tecnologia desenvolvida.

Um dos problemas é relacionado à propriedade do projeto. Apesar de ter sido desenvolvido em parte com o dinheiro público através de projetos como o RHAE e PADCT o projeto também recebeu aportes de FURNAS e COPEL. A falta de clareza na forma como cada um dos parceiros tem propriedade sobre o projeto é um dos problemas encontrados agora.

O fato do robô não ter muita utilidade hoje sem a equipe que o construiu faz com que o problema se agrave. Pois manter a equipe significa mais aporte de recursos financeiros, caso contrário esta irá se dispersar e grande parte do que foi desenvolvido será perdido.

Do outro lado está a universidade, que contribuiu com o desenvolvimento da tecnologia, como ela poderia ser recompensada e de que forma, caso a tecnologia criada fosse usada por uma empresa do setor privado. O fato de não haver um modelo claro no Brasil de como a tecnologia desenvolvida na universidade pode ser repassada as empresas acaba sendo uma das causas desse problema.

Podemos comparar um projeto de desenvolvimento de tecnologia a uma das antigas expedições marítimas exploradoras, exemplo usado por LATOUR (2000). Se o navio que partiu para explorar uma determinada região consegue retornar trazendo através de seu diário de bordo todo o conhecimento acumulado sobre aquela região, outros poderão utilizar isto para viagens futuras. Caso o navio afunde, todo o conhecimento é perdido, assim como o investimento ali colocado. Da mesma forma é um projeto de pesquisa. Caso ele tenha sucesso e gere um produto útil para a sociedade, ou consiga ser documentado de tal forma que possa servir de ponto de partida para projetos futuros, de uma certa forma o investimento foi feito com sucesso. Se por outro lado ele é esquecido, acaba no meio do caminho, a equipe é dispersada e os relatórios guardados, o investimento feito foi, de certa forma, inútil.

## 7 Referências Bibliográficas

ANJOS, J. S. dos. **O que é cavitação e por que ela ocorre?** Disponível em <http://www.fisica.ufc.br/qsaber/respostas/qr0648.htm>. Acessado em 03 de agosto de 2004.

ARAI, Tamio. **Forecast of Assembly Automation in the Automobile Industry: Technological Progress in Robotics.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 35, pág. 133-148, 1989.

ARBOR, Ann. **North American Robot Orders Jump 19% in 2003 Best Year for Robotics Industry Since 2000, Says RIA.** Disponível em: <http://www.roboticsonline.com/public/articles/articlesdetails.cfm?id=1361>. Acessado em 03 de agosto de 2004.

ARBOR2, Ann. **North American Robot Orders Jump 17% in First Quarter of 2004.** Disponível em: <http://www.roboticsonline.com/public/articles/articlesdetails.cfm?id=1487>. Acessado em 03 de agosto de 2004.

AUSTIN. **Robotics Research Group – History.** Disponível em: [http://www.robotics.utexas.edu/rrg/learn\\_more/history/](http://www.robotics.utexas.edu/rrg/learn_more/history/). Acessado em 15 de outubro de 2004.

BASTOS, Raul Luís Assumpção. **Novas Tecnologias, trabalho e competitividade: um estudo de firmas de automação industrial de base microeletrônica.** Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia 1998.

BONACORSO, N. G. **Automatização dos Processos de Medição de Superfícies e de Deposição por Soldagem Empregados na Recuperação de Peças Erodidas por Cavitação.** 2002. Qualificação de Tese (doutorado) Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BRIDGES, Willian. **The End of the Job**. Fortune, 19 de Setembro de 1994, pág. 62-74.

BUSCHINELLI, P. de D. V. **Documentação e Avaliação da Confiabilidade do Sistema de Acionamento Eletro-Eletrônico do Robô Desenvolvido no Projeto Roboturb**.

2004. Relatório (Estágio longo em Engenharia Elétrica) Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CALAINHO, J. A. L. et al. **Cavitação em Turbinas Hidráulicas do Tipo Francis e Kaplan no Brasil**. XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, 1999.

CALDEIRA, Jorge. **Mauá: empresário do império**. Companhia das Letras, São Paulo, 1995.

CASSIOLATO, José Eduardo. **Que futuro para a indústria brasileira?** O Futuro da Indústria - Oportunidades e Desafios - A reflexão da universidade. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/sti/publicacoes/futAmaDilOportunidades/futIndOpoDesafios.php>. Acessado em 20 de novembro de 2004.

CONTO, A. M. de. **Proposta de um Teach Pendant para Robô de Eixo Redundante**. 2003. Relatório (Estágio em Controle e Automação Industrial) Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

De MASI, Domenico. **O Futuro do Trabalho: fadiga e ócio na sociedade pós-industrial**; tradução de Yadyr A. Figueredo - 8ª Edição – Rio de Janeiro – Editora José Olympio, 2003.

DESAI, Pranav. **Technology Assessment in the Indian Footwear Sector**. Technological Forecasting and Social Change, nr. 48, pág. 177-187, 1995.

EDLER, Dietmar and RIBAKOVA, Tatjana. **The Impact of Industrial Robots on the Level and Structure of Employment in Germany – A Simulation Study for the Period 1980 – 2000**. Technological Forecasting and Social Change, nr. 45, pág. 255-274, 1994.

FREYRE, Gilberto. **Casa-grande & senzala: formação da família brasileira sobre o regime da economia patriarcal**. 47 edição, São Paulo, Global, 2003.

FURTADO, Celso. **Formação Econômica do Brasil**. 31 edição, São Paulo, Companhia Editora Nacional, 2002.

GARCIA, M. e VASCONCELLOS, M. **Fundamentos de Economia**. Editora Saraiva, 1ª edição, 2001.

GALEANO, Eduardo. **Las Venas Abiertas de América Latina**. 20ª Edição em Espanha. Siglo XXI de España Editores, 2003.

IBGE, Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acessado em 16 de novembro de 2004.

IIRBOTS. **IIRobots**. Disponível em: <http://www.iirobotics.com/webpages/robothistory.php>. Acessado em 16 de outubro de 2004.

ISHITANI, Hisashi, KAYA, Yoichi. **Robotization in Japanese Manufacturing Industries**. Technological Forecasting and Social Change, nr. 35, pág. 97-131, 1989.

ISTOÉ. **Pronta para zarpar**. Isto é-online, Revista Brasil, 27 de agosto de 2004. Disponível em: [http://www.terra.com.br/istoe/1816/brasil/1816\\_rio\\_pronta\\_zarpar.htm](http://www.terra.com.br/istoe/1816/brasil/1816_rio_pronta_zarpar.htm). Acessado em 5 de agosto de 2004.

KAPP, W. **Proposta da Fase II: Engenharia de Aplicação e Processos de Preparação e Acabamento Superficial**. 2000. Relatório projeto Roboturb LACTEC e Universidade Federal de Santa Catarina.

KARLSON, Jan. **World Robotics 2003**. Relatório para a Comissão Econômica Européia das Nações Unidas. <http://www.unece.org/stats/robotics/>

KATZ, Frederico J., SICSÚ, Abraham B. **Desafios Tecnológicos e Impactos Sócio Econômicos.** Disponível em:

<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/sti/publicacoes/futAmaDilOportunidades/futIndOpoDesafios.php>. Acessado em 16 de novembro de 2004.

KINOSHITA, Soshichi, YAMADA, Mitsuo. **The Impacts of Robotization on Macro and Sectoral Economies Within a World Econometric Model.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 35, pág. 211-230, 1989.

LATOUR, Bruno. **Ciência em Ação – Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora.** Tradução de Ivone C. Beneditti; revisão de tradução de Jesus de Paula Assis – São Paulo - Editora UNESP, 2000.

LEAL, R. D. G. **Impacto Social da Robótica e Desenvolvimento Tecnológico no Brasil.** 2004. Artigo submetido ao ENECA – Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia de Controle e Automação. Disponível em: <http://www.geocities.com/grupoevolutivo/>. Acessado em 5 de agosto de 2004.

LEAL, R. D. G. **O Uso do Tempo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INVERSÃO EXISTENCIAL – GRINVEX, 2004, Florianópolis. **Anais.** Disponível em: <http://www.geocities.com/grupoevolutivo/>.

LINS, Alvaro. **Rio Branco (Barão do Rio Branco): biografia pessoal e história política.** 3ª Edição. São Paulo, Editora Alfa Ômega, 1996.

MARQUES, Rosa Maria. **O impacto da automação microeletrônica na organização do trabalho em duas montadoras brasileiras.** Revista de Economia Política, vol. 10, nr. 3 (39), julho-setembro, 1990.

McCURDY, Thomas H. **Some Potential Job Displacements Associated with Computer-Based Automation in Canada.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 35, pág. 299-317, 1989.

MORI, Shunsuke. **Macroeconomic Effects of Robotization in Japan.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 35, pág. 149-165, 1989.

NARAIN, Rakesh, YADAV, R. C. **Impact of Computerized Automation on Indian Manufacturing Industries.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 55, pág. 83-98, 1997.

OLIVEIRA, J. E. L. **Introdução a Automação Robotizada.** Centro Universitário Selesiano de São Paulo. Unisal, campus Americana. Disponível em: [www.cptec.br/stm-4/pdf/auto2.pdf](http://www.cptec.br/stm-4/pdf/auto2.pdf). Acessado em 01 de setembro de 2004.

PAULA, João Antônio. **Limites do Desenvolvimento Tecnológico no Brasil.** Revista de Economia Política, vol. 19, nr. 2 (72), abril-junho, 1999.

PASTORE, José. **Tecnologia, Educação e Legislação: (Seus Impactos sobre o Emprego).** Disponível em [www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sti/publicacoes/futAmaDilOportunidades/futIndustria\\_08.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sti/publicacoes/futAmaDilOportunidades/futIndustria_08.pdf) e em: <http://www.josepastore.com.br/artigos/emprego/113.htm> . Acessado em 19 de dezembro de 2004.

RUSSELL, Bertrand. **In Praise of Idleness and other essays.** Londres e Nova York – Editora Routledge, 2001.

SAITO, Mitsuo, NAKAMURA, Shinichiro. **Impacts of Robotization on the Japanese Economy.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 35, pág. 167-177, 1989.

SANTOS, Winderson E. **Utilização de Giroscópios para a Identificação da Geometria Tridimensional através de Quaternions Duais – Exemplificação de Uso em Algoritmos de Cinemática de Robô com Trilho Curvo.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – 2003.

SCIAVICCO, Lorenzo et al. **Modeling and Control of Robot Manipulators.** 1996. Universidade de Nápoles Federico II. Nápoles, Itália.

SILVA, Luciano Rottava. **Análise e Programação de Robôs Móveis Autônomos da Plataforma Eyebot.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – 2003.

SMITH, Tanalee. **U.S. Tests Robots in Afghanistan** by TANALEE SMITH, Associated Press Writer,. Disponível em: <http://www.roboticsonline.com/public/articles/articlesdetails.cfm?id=793>. Acessado em 03 de agosto de 2004.

SPONG, Mark W. et al. **Robot Dynamics and Control.** 1989.

TANI, Akira. **International Comparisons of Industrial Robot Penetration.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 34, pág. 191-210, 1989.

TAOUIL, Rafael May. **Solda Plasma Robotizada: Ensaio e Desenvolvimento de Software.** 2004. Relatório (Estágio em Controle e Automação Industrial) Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TAUILE, José Ricardo. **Microeletrônica e automação: a nova fase da indústria automobilística brasileira.** Revista de Economia Política, vol. 6, nr. 3, julho-setembro, 1986.



TCHIJOV, Iouri. **CIM Introduction: Some Socioeconomic Aspects.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 35, pág. 261-275, 1989.

TORII, Yasuhiko. **Robotization in Korea: Trend and Implications for Industrial Development.** Technological Forecasting and Social Change, nr. 35, pág. 179-190, 1989.

TRUEFORCE. **History Timeline of Robotics.** Disponível em: [http://trueforce.com/Articles/Robot\\_History.htm](http://trueforce.com/Articles/Robot_History.htm). Acessado em 15 de outubro de 2004.

VALMÓRBIDA, G. **Desenvolvimento e Implementação de Algoritmos de Cinemática para o Robô do projeto Roboturb.** 2003. Relatório (Estágio em Controle e Automação Industrial) Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WEBER, Max. **A Ética Protestante e o Espírito do Capitalismo.** Editora Martin Claret, 2001.

WIKI. **Wikipedia.** Disponível em: <http://en.wikipedia.org/>. Acessado em 15 de outubro de 2004.